

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**

**y Sistemas de Telecomunicación**



**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA ACÚSTICA DE  
LA EDIFICACIÓN Y MEDIO AMBIENTE**

**DISEÑO DE LABORATORIO PARA LA EVALUACIÓN DE  
SILENCIADORES “IN SITU”.**

**ELENA HOLGADO PALACIOS**

**Julio de 2014**

**Título:**

Diseño de laboratorio para la evaluación de silenciadores “in situ”

**Autor:**

Elena Holgado Palacios.

**Programa de postgrado:**

Máster Universitario en Ingeniería Acústica de la Edificación y Medio Ambiente.

**Tutor:**

Juan Sancho Gil.

**Tribunal:**

Vicente González Posadas (Presidente).

Constantino Gil González (Secretario).

David Caballol Bartolomé (Vocal).

**Fecha de lectura:**

Julio de 2014.

## Índice

Índice	i
Índice de figuras	vi
Índice de tablas	xii
Índice de ecuaciones	xxii
Resumen	xxv
Summary	xxvi
1 Introducción.	1
1.1. Antecedentes.	2
1.2. Estructura del trabajo.	3
2 Objetivo del proyecto, tareas a desarrollar y medios necesarios.	5
2.1. Objetivo.	6
2.2. Tareas a realizar.	6
2.3. Medios necesarios.	7
2.3.1. Medición aislamiento paneles acústicos.	7
2.3.2. Medición pérdidas por inserción.	8
3 Términos y definiciones.	9
4 Normas de consulta y normas aplicadas	17
5 Diseño del sistema de ensayo de silenciadores	19
5.1. Pautas para el diseño del sistema de ensayo de silenciadores.	20

---

5.2. Diseño del sistema de ensayo de silenciadores.	20
5.2.1. Sistema vertical	22
5.2.2. Silenciadores	29
5.2.3. Conducto de sustitución	32
5.2.4. Transición	33
5.2.5. Caja para alojamiento de fuente sonora.	35
6 Aislamiento a Ruido Aéreo.	37
6.1. Bases teóricas sobre el aislamiento a ruido aéreo de un elemento finito simple.	38
6.2. Ensayo de Aislamiento a Ruido Aéreo.	43
6.2.1. Características de las instalaciones de ensayo.	43
6.2.2. Procedimiento de ensayo.	44
6.2.3. Procedimiento de medición.	51
7 Medición de la atenuación de un silenciador	53
7.1. Bases teóricas sobre la atenuación de silenciadores.	54
7.1.1. Introducción.	54
7.1.2. Tipos de silenciadores.	54
7.1.3. Silenciadores pasivos.	55
7.1.4. Parámetros característicos de un silenciador.	56
7.2. Ensayo de obtención de la atenuación de silenciadores pasivos mediante la UNE EN ISO 11820.	61
7.2.1. Características de las instalaciones de ensayo.	61

---

7.2.2. Procedimiento de ensayo.	62
7.2.3. Procedimiento de medición.	68
8 Resultados de ensayos y de cálculos.	73
8.1. Medición del aislamiento a ruido aéreo.	74
8.1.1. Tablas de datos de las medidas.	75
8.1.1.1 Niveles medidos con la fuente en la posición 1 ( $F_1$ )	75
8.1.1.2 Niveles medidos con la fuente en la posición 2 ( $F_2$ )	79
8.1.1.3 Niveles medidos con la fuente en la posición 3 ( $F_3$ )	83
8.1.2. Obtención del valor medio de las tres mediciones.	87
8.1.3. Cálculo del Aislamiento.	96
8.1.4. Evaluación de la Incertidumbre del resultado del ensayo de Aislamiento.	101
8.2. Medición de la atenuación de silenciadores.	120
8.2.1. Tablas de datos de las medidas.	121
8.2.1.1 Niveles medidos en el ensayo realizado para un silenciador tipo 100-200 de 600 x 600 x 900 mm.	121
8.2.1.2 Niveles medidos en el ensayo realizado para un silenciador tipo 150-200 de 700 x 600 x 900 mm.	129
8.2.1.3 Niveles medidos en el ensayo realizado para un silenciador tipo 200-200 de 800 x 600 x 900 mm.	137
8.2.2. Cálculo de las pérdidas por inserción.	145
8.2.3. Cálculo de la incertidumbre de las pérdidas por inserción.	152

---

8.2.3.1 Incertidumbre de las pérdidas por inserción el silenciador tipo 100-200 de 600 x 600 x 900 mm.	153
8.2.3.2 Incertidumbre de las pérdidas por inserción el silenciador tipo 150-200 de 700 x 600 x 900 mm.	167
8.2.3.2 Incertidumbre de las pérdidas por inserción del silenciador tipo 200-200 de 800 x 600 x 900 mm.	174
8.3. Cálculo de la atenuación por conductos forrados.	181
9 Resumen de resultados, comparaciones y exposición de conclusiones.	191
9.1. Comparación de resultados.	192
9.1.1. Aislamiento a ruido aéreo.	193
9.1.1.1 Resultado del ensayo de aislamiento a ruido aéreo.	193
9.1.1.2 Datos de otros fabricantes de aislamiento a ruido aéreo.	194
9.1.1.3 Predicción de datos del programa comercial de cálculos acústicos "Insul" del aislamiento que proporcionan dos paneles de 80 mm.	196
9.1.2. Pérdidas por inserción	198
9.1.2.1 Resultado de los ensayos de pérdidas por inserción.	198
9.1.2.2 Datos de otros fabricantes de la atenuación de silenciadores.	206
9.2. Exposición de conclusiones.	210
10 Presupuesto	213
Anexo I, Planos de diseño del sistema.	217
Índice de Planos	218
Anexo II, Hojas de toma de datos en laboratorio.	221



---

Anexo III, Certificados	237
Referencias bibliográficas.	241

## Índice de figuras

Figura 1. Elementos componentes del sistema de ensayo.	21
Figura 2. Detalle de los componentes del bastidor A	23
Figura 3. Vistas de bastidor A por cara chapa lisa y por cara chapa perforada respectivamente.	24
Figura 4. Detalle perfil "Z" y pletina en bastidor A para sujeción durante montaje en hueco puerta sencilla cámara reverberante y fijación de paneles de cierre respectivamente.	24
Figura 5. Detalles del bastidor B.	25
Figura 6. Vistas de bastidor B por cara chapa lisa y por cara chapa perforada respectivamente.	26
Figura 7. Detalle perfil U en bastidor B para formación de cámara de aire.	26
Figura 8. Sistema vertical para inserción de los silenciadores a ensayar instalado en hueco de puerta sencilla de cámara reverberante, visto desde el interior.	27
Figura 9. Sistema vertical para inserción de los silenciadores a ensayar instalado en hueco de puerta sencilla de cámara reverberante, visto desde el exterior de la cámara.	27
Figura 10. Tubo de cierre lateral derecho con cajeado para su perfecto acoplamiento bastidor de puerta.	28
Figura 11. Vista frontal de tubo de cierre lateral derecho con cajeado.	28
Figura 12. Paneles de cierre lateral izquierdo en sistema vertical de ensayo complementarios a los silenciadores de 800 x 600, 700 x 600 y 600 x 600 de izquierda a derecha respectivamente.	29
Figura 13. Componentes del silenciador tipo.	30



---

Figura 14.	Silenciador tipo 100-200 de 600 x 600 x 900 mm de dimensiones.	31
Figura 15.	Silenciador tipo 150-200 de 750 x 600 x 900 mm de dimensiones.	31
Figura 16.	Silenciador tipo 200-200 de 800 x 600 x 900 mm de dimensiones.	32
Figura 17.	Imagen del conducto de sustitución.	33
Figura 18.	Componentes de la transición.	34
Figura 19.	Vista lateral de la transición.	34
Figura 20.	Vista frontal de la transición.	34
Figura 21.	Componentes de la caja de alojamiento.	35
Figura 22.	Vista frontal de la caja de alojamiento de la fuente.	36
Figura 23.	Vista lateral de la caja de alojamiento de la fuente.	36
Figura 24.	Vista posterior del panel trasero desmontable de la caja de alojamiento de la fuente.	36
Figura 25.	Vista frontal del panel trasero desmontable de la caja de alojamiento de la fuente.	36
Figura 26.	Comportamiento del aislamiento de una pared simple en función de la frecuencia.	39
Figura 27.	Recinto emisor.	43
Figura 28.	Recinto receptor.	43
Figura 29.	Disposición en el montaje del elemento de ensayo.	45
Figura 30.	Colocación perfiles en "U" en las jambas verticales del hueco.	45

---

Figura 31.	Colocación perfiles en "U" horizontales.	46
Figura 32.	Introducción de paneles por zona central.	46
Figura 33.	Se desplazan por el perfil en "U" hasta llevarlos a su sitio.	47
Figura 34.	Detalle del perfil de fijación para los paneles centrales.	47
Figura 35.	Detalle del perfil de fijación para el bastidor A sustituyendo los paneles centrales.	48
Figura 36.	Imagen del hueco central con los perfiles para recibir los paneles o bastidor de ensayo.	48
Figura 37.	Imagen del hueco completamente cerrado con panel.	49
Figura 38.	Detalle de sellado perimetral del perfil en "U" contra la fábrica.	50
Figura 39.	Imagen sala receptora ajustada con material absorbente.	51
Figura 40.	Coeficientes de pérdida de carga para silenciadores de baffles paralelos.	59
Figura 41.	Bastidor situado en el hueco de la puerta, vista desde interior de la cámara.	63
Figura 42.	Imagen del doble bastidor.	64
Figura 43.	Imagen del montaje de la transición y la caja de alojamiento de la fuente sobre la bancada móvil.	65
Figura 44.	Montaje del panel cierre de la caja de alojamiento de la fuente.	66
Figura 45.	Montaje del panel cierre de la caja de alojamiento de la fuente.	66
Figura 46.	Ensamble del conjunto de la caja de alojamiento y la transición al silenciador insertado en el bastidor de ensayo.	67
Figura 47.	Imagen de conducto de sustitución y de silenciador respectivamente instalados en el sistema de ensayo.	71

---

Figura 48. Imagen de medición de nivel de ruido con silenciador instalado en bastidor.	71
Figura 49. Imagen de posición de micrófono en cámara con silenciador instalado en bastidor.	72
Figura 50. Representación gráfica del aislamiento a ruido aéreo del elemento de ensayo correspondiente a un cerramiento de panel acústico sencillo.	98
Figura 51. Niveles de ruido aéreo medio recibido y corregido con silenciador tipo 100-200 y con el conducto de sustitución.	146
Figura 52. Atenuación del silenciador tipo 100-200 obtenida por el método de las pérdidas por inserción.	147
Figura 53. Niveles de ruido aéreo recibido y corregido con silenciador tipo 150-200 y con el conducto de sustitución.	149
Figura 54. Atenuación del silenciador tipo 150-200 obtenida por el método de las pérdidas por inserción.	149
Figura 55. Niveles de ruido aéreo medio recibido y corregido con silenciador tipo 200-200 y con el conducto de sustitución.	151
Figura 56. Atenuación del silenciador tipo 200-200 obtenida por el método de las pérdidas por inserción.	151
Figura 57. Gráfica para la obtención de la atenuación por conductos forrados.	182
Figura 58. Valores obtenidos de atenuación para silenciador tipo 100-200 con un 33 % de apertura aproximadamente.	183
Figura 59. Atenuación del silenciador tipo 100-200 obtenida por cálculo de conductos forrados.	185
Figura 60. Valores obtenidos de atenuación para silenciador tipo 150-200 con un 43 % de apertura aproximadamente.	186

Figura 61. Representación gráfica de la atenuación del silenciador tipo 150-200 obtenida por cálculo de conductos forrados. 186

Para el silenciador tipo 200-200 la gráfica será la correspondiente a la curva del 50%. 188

Figura 62. Valores obtenidos de atenuación para silenciador tipo 200-200 con un 50 % de apertura. 188

Figura 63. Representación gráfica de la atenuación del silenciador tipo 200-200 obtenida por el método de las pérdidas por inserción. 190

Figura 64. Aislamiento a ruido aéreo de paneles de 80 mm que facilitan fabricantes del sector acústico incluso Índice de Reducción Acústica del Panel P.Acustic 3.2 de Acuter obtenido por ensayo. 195

Figura 65. Representación gráfica del aislamiento a ruido aéreo que proporcionan dos paneles consecutivos de 80 mm de espesor comparado con el índice de reducción acústica obtenido mediante ensayo del panel P.Acustic 3.2 de Acuter. 197

Figura 66. Comparación de resultado de atenuación del silenciador tipo 100-200. 199

Figura 67. Comparación de resultado de atenuación del silenciador tipo 150-200. 201

Figura 68. Representación gráfica de la comparación de resultado de atenuación del silenciador tipo 200-200. 203

Figura 69. Representación gráfica de la comparación de los resultados de atenuación de los tres tipos de silenciadores. 204

Figura 70. Representación gráfica de la comparación de los resultados de pérdidas por inserción de los tres tipos de silenciadores. 205

Figura 71. Valores de atenuación de distintos fabricantes de silenciadores tipo 100-200 y 900 mm de profundidad. 207

Figura 72. Valores de atenuación de distintos fabricantes de silenciadores tipo 150-200 y 900 mm de profundidad. 208

Figura 73. Valores de atenuación de distintos fabricantes de silenciadores tipo 150-200 y 900 mm de profundidad. 209

## Índice de tablas

Tabla. I. Niveles de presión sonora registrados en cada una de las posiciones de micrófono en el recinto emisor con la fuente en la posición 1...	75
Tabla. II. Niveles de presión sonora registrados en cada una de las posiciones de micrófono en el recinto receptor con la fuente en la posición 1.	76
Tabla. III. Tiempos de reverberación registrados en cada una de las posiciones de micrófono en el recinto receptor correspondientes a la medida de la fuente en la posición 1.	77
Tabla. IV. Niveles de ruido de fondo registrados en distintas posiciones de micrófono en el recinto receptor correspondientes a la medida de la fuente en la posición 1.	78
Tabla. V. Niveles de presión sonora registrados en cada una de las posiciones de micrófono en el recinto emisor con la fuente en la posición 2...	79
Tabla. VI. Niveles de presión sonora registrados en cada una de las posiciones de micrófono en el recinto receptor con la fuente en la posición 2.	80
Tabla. VII. Tiempos de reverberación registrados en cada una de las posiciones de micrófono en el recinto receptor con la fuente en la posición 2.	81
Tabla. VIII. Niveles de ruido de fondo registrados en distintas posiciones de micrófono en el recinto receptor correspondientes a la medida con la fuente en la posición 2.	82

---

Tabla. IX. Niveles de presión sonora registrados en cada una de las posiciones de micrófono en el recinto emisor con la fuente en la posición 3...	83
Tabla. X. Niveles de presión sonora registrados en cada una de las posiciones de micrófono en el recinto receptor con la fuente en la posición 3.	84
Tabla. XI. Tiempos de reverberación registrados en cada una de las posiciones de micrófono en el recinto receptor con la fuente en la posición 3.	85
Tabla. XII. Niveles de ruido de fondo registrados en distintas posiciones de micrófono en el recinto receptor correspondientes a la medida de la fuente en la posición 3.	86
Tabla. XIII. Niveles de ruido recibido corregidos para los niveles correspondientes a la medida de la posición 1 de fuente.	88
Tabla. XIV. Niveles de ruido recibido corregidos para los valores de nivel de recepción en la posición 2 de fuente.	89
Tabla. XV. Niveles de ruido recibido corregido para la posición 3 de fuente.	90
Tabla. XVI. Nivel medio de ruido medido en el recinto emisor.	91
Tabla. XVII. Nivel medio de ruido medido en el recinto receptor.	92
Tabla. XVIII. Tiempo de reverberación medio y área de absorción acústica.	93
Tabla. XIX. Ruido de fondo medio.	94
Tabla. XX. Corrección del ruido recibido por el ruido de fondo.	95

Tabla. XXI. Resumen niveles medios de emisión, recepción y tiempo reverberación. ....	96
Tabla. XXII. Índice de reducción acústica, R obtenido a partir de las mediciones efectuadas. ....	97
Tabla. XXIII. <b>Aislamiento a ruido aéreo de dos paneles de 80 mm de espesor obtenido mediante el Programa comercial de cálculo "Insul"</b> .....	100
Tabla. XXIV. Incertidumbre de tipo A del Nivel de presión sonora de emisión. ....	103
Tabla. XXV. Incertidumbre de tipo B de calibración del Nivel de presión sonora de emisión. ....	104
Tabla. XXVI. Incertidumbre de tipo B de resolución del Nivel de presión sonora de emisión. ....	105
Tabla. XXVII. Incertidumbre de tipo B debida a la deriva del Nivel de presión sonora de emisión. ....	106
Tabla. XXVIII. Incertidumbre combinada del Nivel de presión sonora en el recinto de emisión. ....	107
Tabla. XXIX. Incertidumbre de tipo A del Nivel de presión sonora de recepción. ....	108
Tabla. XXX. Incertidumbre de tipo B de calibración del Nivel de presión sonora de recepción. ....	109
Tabla. XXXI. Incertidumbre de tipo B de resolución del Nivel de presión sonora de recepción. ....	110
Tabla. XXXII. Incertidumbre de tipo B debida a la deriva del Nivel de presión sonora de recepción. ....	111



---

Tabla. XXXIII. Incertidumbre combinada del Nivel de presión sonora de recepción. ....	112
Tabla. XXXIV. Incertidumbre de tipo A del Tiempo de reverberación. ....	113
Tabla. XXXV. Incertidumbre de tipo B debida a la resolución del equipo del Tiempo de reverberación. ....	114
Tabla. XXXVI. Incertidumbre combinada del Tiempo de reverberación. ....	115
Tabla. XXXVII. Incertidumbre combinada del Índice de reducción acústico, R. ....	117
Tabla. XXXVIII. Incertidumbre expandida del Índice de reducción acústico, R. ....	118
Tabla. XXXIX. Índice de reducción acústico, R de los paneles acústicos Acustic 3.2 de Acuter con la correspondiente incertidumbre. ....	119
Tabla. XL. Nivel de ruido recibido en las distintas posiciones de micrófono con silenciador de Tipo 100-200 de Transformados Acuter instalado en sistema.....	121
Tabla. XLI. Tiempo de reverberación en las distintas posiciones de micrófono con el silenciador de Tipo 100-200 de Transformados Acuter. ..	122
Tabla. XLII. Nivel de ruido de fondo en las distintas posiciones de micrófono con el silenciador de Tipo 100-200 de Transformados Acuter. ..	123
Tabla. XLIII. Comprobación de la afección del ruido de fondo en el nivel de ruido recibido con silenciador instalado de Tipo 100-200 de Transformados Acuter. ....	124

Tabla. XLIV. Nivel de ruido recibido en las distintas posiciones de micrófono con conducto sustituyendo silenciador de Tipo 100-200 de Transformados Acuter. .... **125**

Tabla. XLV. Tiempo de reverberación en las distintas posiciones de micrófono con el conducto sustituyendo al silenciador de Tipo 100-200 de Transformados Acuter. .... **126**

Tabla. XLVI. Nivel de ruido de fondo en las distintas posiciones de micrófono con el conducto sustituyendo al silenciador de Tipo 100-200 de Transformados Acuter. .... **127**

Tabla. XLVII. Comprobación de la afección del ruido de fondo en el nivel de ruido recibido en las distintas posiciones de micrófono con el conducto de sustitución insertado en el sistema. .... **128**

Tabla. XLVIII. Nivel de ruido recibido en las distintas posiciones de micrófono con silenciador de Tipo 150-200 de Transformados Acuter. .... **129**

Tabla. XLIX. Tiempo de reverberación en las distintas posiciones de micrófono con silenciador de Tipo 150-200 de Transformados Acuter. .... **130**

Tabla. L. Nivel de ruido de fondo en las distintas posiciones de micrófono con silenciador de Tipo 150-200 de Transformados Acuter. .... **131**

Tabla. LI. Comprobación de la afección del ruido de fondo en el nivel de ruido recibido en las distintas posiciones de micrófono con el silenciador tipo 150-200. .... **132**

Tabla. LII. Niveles de ruido recibido en las distintas posiciones de micrófono con el conducto sustituyendo al silenciador tipo 150-200. .... **133**

Tabla. LIII. Tiempos de reverberación en las distintas posiciones de micrófono con el conducto sustituyendo al silenciador tipo 150-200. .... **134**

---

Tabla. LIV. Nivel de ruido de fondo en las distintas posiciones de micrófono con el conducto sustituyendo al silenciador tipo 150-200. ....	<b>135</b>
Tabla. LV. Comprobación de la posible afección del ruido de fondo sobre el nivel de ruido recibido en las distintas posiciones de micrófono con el conducto sustituyendo al silenciador tipo 150-200. ....	<b>136</b>
Tabla. LVI. Nivel de ruido recibido en las distintas posiciones de micrófono con el silenciador tipo 200-200. ....	<b>137</b>
Tabla. LVII. Tiempos de reverberación en las distintas posiciones de micrófono con el silenciador tipo 200-200. ....	<b>138</b>
Tabla. LVIII. Nivel de ruido de fondo en las distintas posiciones de micrófono con el silenciador tipo 200-200. ....	<b>139</b>
Tabla. LIX. Comprobación de la afección del ruido de fondo sobre el nivel de ruido recibido con el silenciador tipo 200-200. ....	<b>140</b>
Tabla. LX. Nivel de ruido recibido en las distintas posiciones de micrófono con el conducto de sustitución en lugar del silenciador tipo 200-200. ....	<b>141</b>
Tabla. LXI. Tiempo de reverberación en las distintas posiciones de micrófono con el conducto de sustitución en el lugar del silenciador tipo 200-200. ....	<b>142</b>
Tabla. LXII. Nivel de ruido de fondo en las distintas posiciones de micrófono con el conducto de sustitución en lugar del silenciador tipo 200-200. ....	<b>143</b>
Tabla. LXIII. Comprobación de la posible afección del ruido de fondo sobre el nivel de ruido recibido con el conducto sustituyendo al silenciador tipo 200-200. ....	<b>144</b>

Tabla. LXIV. Tabla resumen de valores medidos para el cálculo de las pérdidas por inserción del silenciador tipo 100-200 así como los valores obtenidos de estas. ....	<b>145</b>
Tabla. LXV. Tabla resumen de valores medidos para el cálculo de las pérdidas por inserción del silenciador tipo 150-200 así como los valores de estas. ....	<b>148</b>
Tabla. LXVI. Tabla resumen de valores medidos para el cálculo de las pérdidas por inserción del silenciador tipo 200-200 así como los valores obtenidos de estas. ....	<b>150</b>
Tabla. LXVII. Desviación estándar de la media del nivel de ruido recibido con silenciador tipo 100-200. ....	<b>153</b>
Tabla. LXVIII. Incertidumbre debida a la calibración en el nivel de ruido recibido con silenciador tipo 100-200. ....	<b>154</b>
Tabla. LXIX. Incertidumbre debida a la resolución en el nivel de ruido recibido con silenciador tipo 100-200. ....	<b>155</b>
Tabla. LXX. Incertidumbre debida a la deriva en el nivel de ruido recibido con silenciador tipo 100-200. ....	<b>156</b>
Tabla. LXXI. Incertidumbre combinada del nivel medio de presión recibido con silenciador tipo 100-200. ....	<b>157</b>
Tabla. LXXII. Incertidumbre combinada del nivel medio de ruido de fondo recibido con silenciador tipo 100-200. ....	<b>158</b>
Tabla. LXXIII. Incertidumbre combinada del nivel medio de presión recibido con silenciador tipo 100-200. ....	<b>159</b>
Tabla. LXXIV. Incertidumbre combinada del nivel medio de presión recibido con conducto sustituyendo al silenciador tipo 100-200. ....	<b>160</b>

Tabla. LXXV. Incertidumbre combinada del tiempo de reverberación para el silenciador tipo 100-200. ....	161
Tabla. LXXVI. Incertidumbre combinada del tiempo de reverberación para el conducto en el ensayo del silenciador tipo 100-200. ... .....	162
Tabla. LXXVII. Coeficientes de sensibilidad del tiempo de reverberación para el silenciador tipo 100-200 y conducto de sustitución. .... .....	163
Tabla. LXXVIII. Incertidumbre combinada de las pérdidas por inserción del silenciador tipo 100-200. ....	164
Tabla. LXXIX. Incertidumbre expandida de las pérdidas por inserción del silenciador tipo 100-200. ....	165
Tabla. LXXX. Pérdidas por inserción del silenciador tipo 100-200 y su incertidumbre. ....	166
Tabla. LXXXI. Incertidumbre típica y combinada del nivel de presión recibido para silenciador tipo 150-200. ....	167
Tabla. LXXXII. Incertidumbre típica y combinada del nivel de presión recibido con conducto en medición del silenciador tipo 150-200. ...	168
Tabla. LXXXIII. Incertidumbre típica y combinada del tiempo de reverberación para silenciador tipo 150-200. ....	169
Tabla. LXXXIV. Incertidumbre típica y combinada del tiempo de reverberación con el conducto de sustitución en la medida del ensayo del silenciador tipo 150-200. ....	170
Tabla. LXXXV. Incertidumbre combinada de las pérdidas por inserción del silenciador tipo 150-200. ....	171

---

Tabla. LXXXVI. Incertidumbre expandida de las pérdidas por inserción del silenciador tipo 150-200. ....	<b>172</b>
Tabla. LXXXVII. Pérdidas por inserción del silenciador tipo 100-200 y su incertidumbre. ....	<b>173</b>
Tabla. LXXXVIII. Incertidumbre típica y combinada del nivel de presión recibido para silenciador tipo 150-200. ....	<b>174</b>
Tabla. LXXXIX. Incertidumbre típica y combinada del nivel de presión recibido con conducto en medición del silenciador tipo 200-200... ..	<b>175</b>
Tabla. XC. Incertidumbre típica y combinada del tiempo de reverberación para silenciador tipo 200-200. ....	<b>176</b>
Tabla. XCI. Incertidumbre típica y combinada del tiempo de reverberación para conducto de sustitución en ensayo de silenciador tipo 200-200. ....	<b>177</b>
Tabla. XCII. Incertidumbre combinada de las pérdidas por inserción para silenciador tipo 200-200. ....	<b>178</b>
Tabla. XCIII. Incertidumbre expandida de las pérdidas por inserción de la medida del silenciador tipo 200-200. ....	<b>179</b>
Tabla. XCIV. Pérdidas por inserción e incertidumbre del silenciador tipo 200-200. ....	<b>180</b>
Tabla. XCV. Tabla resumen de valores del cálculo de la atenuación por conducto forrado del silenciador tipo 100-200. ....	<b>184</b>
Tabla. XCVI. Tabla resumen de valores del cálculo de la atenuación por conducto forrado del silenciador tipo 150-200. ....	<b>187</b>
Tabla. XCVII. Tabla resumen de valores del cálculo de la atenuación por conducto forrado del silenciador tipo 200-200. ....	<b>189</b>

Tabla. XCVIII. Tabla resumen de valores del aislamiento a ruido aéreo obtenido del ensayo. ....	193
Tabla. XCIX. Datos de distintos fabricantes del aislamiento a ruido aéreo de panel de 80 mm formado por chapa lisa, lana mineral y chapa perforada. ....	194
Tabla. C. <b>Aislamiento a ruido aéreo de dos paneles de 80 mm de espesor obtenido mediante el Programa comercial de cálculo "Insul" y El índice de reducción acústica de los paneles P.Acustic 3.2 de Acuter obtenido mediante ensayo.....</b>	<b>196</b>
Tabla. CI. Resumen de valores de atenuación por el método de conducto forrado y por pérdidas por inserción en silenciador tipo 100-200. ...	198
Tabla. CII. Resumen de valores de atenuación por el método de conducto forrado y por pérdidas por inserción en silenciador tipo 150-200. ...	200
Tabla. CIII. Resumen de valores de atenuación por el método de conducto forrado y por pérdidas por inserción en silenciador tipo 200-200. ...	202
Tabla. CIV. Valores de atenuación de distintos fabricantes de silenciadores tipo 100-200 y longitud 900 mm. ....	206
Tabla. CV. Valores de atenuación de distintos fabricantes de silenciadores tipo 150-200 y longitud 900 mm. ....	208
Tabla. CVI. Valores de atenuación de distintos fabricantes de silenciadores tipo 200-200 y longitud 900 mm. ....	209

## Índice de ecuaciones

- (1) Pérdidas por inserción
- (2) Nivel de potencia acústica con silenciador
- (3) Área de la superficie de medición detrás del silenciador correspondiente al nivel de presión con silenciador.
- (4) Nivel de potencia acústica sin silenciador
- (5) Área de la superficie de medición detrás del silenciador correspondiente al nivel de presión sin silenciador.
- (6) Diferencia de nivel de presión acústica de inserción
- (7) Pérdidas por transmisión
- (8) Potencia acústica propagada a través del silenciador
- (9) Área de la superficie de medición del lado receptor del silenciador correspondiente al nivel de presión acústica.
- (10) Nivel de potencia acústica recibido por el silenciador
- (11) Área de la superficie de medición del lado fuente
- (12) Diferencia de nivel de presión acústica por transmisión
- (13) Nivel medio o promedio energético del nivel de presión sonora
- (14) Índice de reducción acústica (potencia)
- (15) Índice de reducción acústica (nivel)
- (16) Pérdida por transmisión en campo reverberante de particiones delgadas, homogéneas y simples



- (17) Frecuencia de resonancia
- (18) Frecuencia crítica
- (19) Frecuencia natural
- (20) Aislamiento zona controlada por la rigidez
- (21) Aislamiento en zona de frecuencias próximas a la frecuencia crítica
- (22) Aislamiento en zona por encima de la frecuencia crítica
- (23) Pérdidas por inserción de un silenciador
- (24) Potencia sonora con silenciador
- (25) Pérdidas por inserción
- (26) Pérdidas por inserción con flujo de paso de aire muy bajo
- (27) Atenuación silenciador de longitud l
- (28) Atenuación normalizada
- (29) Resistencia de flujo
- (30) Pérdida de carga
- (31) Pérdida de carga
- (32) Velocidad de paso de aire
- (33) Nivel de ruido regenerado
- (34) Pérdidas por inserción
- (35) Nivel medio de presión acústica sin silenciador
- (36) Nivel medio de presión acústica con silenciador

- 
- (37) Corrección por ruido de fondo
  - (38) Índice de reducción acústica
  - (39) Índice de reducción acústica
  - (40) Desviación estándar
  - (41) Incertidumbre combinada de la magnitud de entrada
  - (42) Incertidumbre combinada de la magnitud de salida
  - (44) Desviación del aislamiento respecto al nivel de presión sonora de emisión.
  - (45) Desviación del aislamiento respecto al nivel de presión sonora de recepción.
  - (46) Desviación del aislamiento respecto al tiempo de reverberación.
  - (47) Pérdidas por inserción
  - (48) Derivada de las pérdidas de inserción respecto al ruido de la señal + el ruido de fondo.
  - (49) Derivada de las pérdidas de inserción respecto al ruido de fondo.
  - (50) Derivada del nivel de ruido recibido respecto del tiempo de reverberación.
  - (51) Porcentaje de apertura
  - (52) Proporción entre paso libre y longitud de onda
  - (53) Longitud de onda
  - (54) Atenuación del conducto forrado.

## Resumen

Se ha realizado el diseño de un sistema que permite realizar ensayos de silenciadores "in situ"

Para evaluar el comportamiento del sistema de ensayo de silenciadores se procede a caracterizar los paneles acústicos que son la base del sistema.

De los paneles empleados en el sistema, se determinará por diferencia del nivel de presión sonora, el aislamiento a ruido aéreo de los mismos, partiendo del promedio de las medidas obtenidas en la sala emisora de la cámara reverberante con el material instalado y en la sala receptora. Se realizan distintas medidas de los niveles de presión sonora en sala emisora de la cámara reverberante y en la receptora así como del tiempo de reverberación con los paneles instalados en el hueco existente en el elemento de separación vertical de la cámara.

Una vez ensayados los paneles, se ha procedido a medir los niveles de presión sonora que se obtienen antes y después de la interposición de distintos silenciadores en el sistema diseñado con el propósito de disponer de un laboratorio de medida de la atenuación de silenciadores. Para ello, se procede a efectuar el montaje, en la puerta sencilla de la cámara reverberante, de los componentes del sistema diseñado y se realizan mediciones de la atenuación que proporciona la colocación de un silenciador en el sistema y su posterior sustitución por un conducto.

La medición de la atenuación del nivel de presión sonora que producen los distintos silenciadores se realiza por pérdidas por inserción, siguiendo las directrices de la Norma UNE-ISO 11820 y por el método de conductos forrados como cálculo teórico.

## Summary

A system has been designed for testing silencers "in situ".

In first place, to evaluate the behavior of the system in the test of silencers, it has been proceeded to customize the acoustic panels that are the basis of the system.

The attenuation sound of the panels used in the system will be determined by the difference of sound pressure level. It will be made through the average of the measurements obtained in the source room of the reverberant chamber, the average of the measurements obtained in the receiving room, as well as the reverberation time, with the material installed in the hole of the walls.

Once the panels are tested, and with the purpose of having a laboratory to measure the attenuation of silencers, the sound pressure levels has been measured before and after inserting the different silencers in the designed system. To obtain these measures, the components of the system designed have been installed in the hollow of the single door of the reverberant chamber and then the sound pressure level has been measured with a silencers first and after with a duct instead of the silencer.

The measurement of the attenuation of the sound pressure level produced by different silencers has been made by insertion loss, following the 11820 UNE-ISO, as well as theoretical calculation has been made by the method of duct lined.

# 1

# Introducción.

## **1.1. Antecedentes.**

La parte más gratificante de realizar una tarea, es la obtención de resultados adecuados.

Circunstancias de la vida me hicieron cambiar de sector laboral, encontrando un hueco en el mundo de la acústica. Este mundo, me obligó a reciclarme si es que quería ser competente en el nuevo camino que había tomado. La opción de realizar el master de Acústica para la Edificación y el Medio Ambiente me pareció el camino adecuado. El comienzo fue duro, llevaba muchos años sin estudiar y además estaba fuera de mi campo profesional, después de un tiempo me fui habituando y el último semestre, empecé a encontrarme cómoda y a pesar de lo duro de conciliar la vida laboral, personal y estudiantil lo cierto es que por fin disfrutaba de lo que estaba haciendo.

En el último semestre realizamos prácticas bastante similares a las que me he encontrado en mi escueta aún andanza por el mundo acústico, y aunque el ingenio de los responsables no tiene precio, los montajes de las prácticas podían mejorarse para poder obtener unos resultado mucho mejores que demostrasen fehacientemente la teoría que con tanto empeño tratan los distintos profesores de enseñarnos.

En conversaciones con mi tutor empezamos a comentar la posibilidad de desarrollar un mecano que permitiese realizar, a los futuros estudiantes, varias prácticas con los mismos materiales. El proyecto era muy amplio y ambicioso, con lo planteado se podían llevar a cabo las prácticas de medición de aislamiento a ruido aéreo, la medición de las pérdidas por inserción de pantallas acústicas finitas, las pérdidas por inserción de silenciadores “in situ” además de la de medición de la absorción de un material acústico y algunas otras que iban surgiendo a medida que seguíamos hablando.

Nuestras mentes se dispararon, pero había que marcar un límite debido a que el tiempo que se posee para el desarrollo de un proyecto es limitado. A pesar de que se han desarrollado y llevado a cabo casi todas las ideas mencionadas, el objeto de estudio de este proyecto se centrará en el desarrollo de un laboratorio que permita ensayar “in situ” el comportamiento acústico de diferentes tipos de silenciadores.

## **1.2. Estructura del trabajo.**

Este apartado trata de hacer un breve resumen de la forma en que se exponen los campos que comprende el proyecto.

El proyecto se divide en varios capítulos que abarcan toda la información relativa a la teoría en que me baso para hacer el estudio que se expone y los datos y resultados obtenidos en los diversos ensayos.

El capítulo 1 hace una pequeña introducción respecto a las causas que me llevaron a realizar este proyecto y a la forma de plasmarlo.

El capítulo 2 explica el objetivo perseguido y las tareas a desarrollar para poder llegar a conseguirlo.

En el capítulo 3 se definen los términos básicos más importantes que se deben conocer para interpretar el conjunto completo del proyecto.

En el capítulo 4 se marcan las normas de consulta y normas empleadas para el desarrollo del grueso del trabajo.

En el capítulo 5 se hace una descripción del sistema diseñado para la realización del ensayo de aislamiento de distintos silenciadores en el laboratorio de acústica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid.

El capítulo 6 se dedica a explicar el aislamiento a ruido aéreo, exponiendo unas bases teóricas, los montajes de ensayos que se han efectuado y el protocolo de medición llevado a cabo.

En el capítulo 7 se expone la atenuación de silenciadores, transponiendo la teoría existente y redactando los montajes y protocolos de ensayo que se han seguido.

El capítulo 8 contempla los cálculos realizados y los resultados obtenidos de los ensayos, así como la incertidumbre de cada uno de los procesos.

En el capítulo 9 se transpone el resumen de los resultados y se exponen las conclusiones a las que se ha llegado tras el análisis y la evaluación de los datos presentados.

El capítulo 10 presenta un presupuesto orientativo del coste del desarrollo del proyecto.

Al final del documento se incluyen tres anexos. El anexo I contempla los planos de diseño y desarrollo del sistema. El anexo II, los planos de posiciones de transductores en las distintas mediciones, las hojas de control de toma de datos en el laboratorio con la justificación del cumplimiento de las distancias exigidas en las medidas y el anexo III, incluye los certificados de los instrumentos empleados en los distintos ensayos.

Al final del documento se presenta un listado con la bibliografía empleada y consultada.



# **2**

## **Objetivo del proyecto, tareas a desarrollar y medios necesarios.**

## **2.1. Objetivo.**

El objetivo principal es el diseño de un sistema constructivo que, adaptado a las instalaciones del laboratorio de Acústica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación en el Campus Sur de la Universidad Politécnica de Madrid, permita medir la pérdida por inserción de distintos silenciadores “disipativos”. De este objetivo se deriva:

- El diseño de sistema tipo mecano que, fabricado a partir de perfilera metálica, chapa y lana mineral, nos proporcione propiedades de aislamiento necesarias para la medición de las pérdidas por inserción.
- La determinación de la atenuación sonora del panel acústico, que se va a emplear como base del mencionado sistema, medido en cámara reverberante según norma UNE-EN ISO 10140 en sus partes 1, 2, 4 y 5:2010.
- La determinación de las pérdidas por inserción de varios silenciadores “medida in situ” según norma UNE-EN ISO 11820:1996.
- Procedimiento y base de cálculo para la determinación de la atenuación de silenciadores pasivos, aplicando la teoría de conductos forrados.

## **2.2. Tareas a realizar.**

Para la obtención del objetivo principal se procede a realizar la serie de tareas que se listan a continuación:

- Diseño del sistema constructivo para realización de ensayo acústico en la cámara reverberante de la escuela.

- Toma de medidas de los niveles de presión sonora para la obtención del aislamiento acústico del elemento constructivo que conforma la base del sistema diseñado.
- Toma de medidas de los niveles de presión sonora, con y sin los silenciadores acoplados al sistema, para la obtención de las pérdidas por inserción.
- Análisis de los datos obtenidos y determinación del aislamiento acústico de los paneles que conforman el sistema constructivo y de las pérdidas por inserción de los silenciadores empleados.

## **2.3. Medios necesarios.**

### **2.3.1. Medición aislamiento paneles acústicos.**

- Micrófono Marca Gras modelo 40AF y número de serie 24126 calibrado.
- Preamplificador modelo 26AK, marca Gras, con número de serie 28103 calibrado.
- Calibrador 01dB, Modelo CAL 01, calibrado.
- Pie de micrófono.
- Fuente dodecaédrica marca Bruel & Kjaer, modelo 4205
- Analizador de espectro en tiempo real: SYMPHONIE marca 01 dB y número de serie 0186 KH1
- Anemómetro EXTECH, marca FLIR STB BVA, modelo SDL500 Y número de serie 2321319.
- Software de medición dBbati32.
- Metro convencional.

### **2.3.2. Medición pérdidas por inserción.**

- Micrófono Marca Gras modelo 40AF y número de serie 24126 calibrado.
- Preamplificador modelo 26AK, marca Gras, con número de serie 28103 calibrado.
- Calibrador 01dB, Modelo CAL 01, calibrado.
- Pie de micrófono.
- Fuente sonora omnidireccional marca B&K modelo HP 1001
- Analizador de espectro en tiempo real: SYMPHONIE marca 01 dB y número de serie 0186 KH1
- Anemómetro EXTECH, marca FLIR STB BVA, modelo SDL500 Y número de serie 2321319.
- Software de medición dBbati32.
- Metro convencional.

# **3**

## **Términos y definiciones.**

Los términos de interés que se aplican en la memoria de este proyecto son los que se listan a continuación:

3.1.- **Silenciador:** Dispositivo que reduce la transmisión de sonido a través de un conducto, tubería o una abertura sin perjudicar el transporte del medio.

3.2.- **Silenciador disipativo:** Elemento que proporciona la atenuación de un sonido de banda ancha con una pérdida de presión relativamente pequeña mediante la conversión parcial de la energía del sonido en calor por fricción en los poros o fibras del recubrimiento del conducto.

3.3.- **Pérdida por inserción,  $D_i$ :** Diferencia entre los niveles de potencia acústica que se propaga a través de un conducto o una abertura con y sin silenciador. Se expresa en decibelios, dB (adaptado de la Norma ISO 7235). [1]

$$D_i = L_{WII} - L_{WI} \quad [dB] \quad (1)$$

$L_{WI}$ : nivel de la potencia acústica (ref. 1pW), en decibelios, en la banda de frecuencia considerada, que se propaga a lo largo del conducto o que radia dentro de la cámara reverberante conectada, cuando el silenciador está instalado, se determina a partir de:

$$L_{WI} = \overline{L_{pI}} + 10 \log(S_I/S_0) + K_I \quad [dB] \quad (2)$$

$L_{pI}$  es el nivel de presión acústica (ref. 20  $\mu$ Pa), en decibelios (en bandas de octava o de tercio de octava) con el silenciador instalado, promediado en todos los puntos de medición del ruido aéreo propagado por el conducto desde la abertura y que depende de las condiciones de instalación.

$S_I$  es el área de la superficie de medición detrás del silenciador correspondiente al nivel de presión acústica,  $L_{pI}$ , o un cuarto de la absorción  $A$  de un recinto receptor reverberante, en donde se aplica la fórmula de Sabine, de forma que:

$$S_I = ((6 \ln 10) * V / c T_I) \quad [m^2] \quad (3)$$

$V$  es el volumen del recinto;

$c$  es la velocidad del sonido ( $c = 340$  m/s) para el aire a temperatura ambiente;

$T_I$  es el tiempo de reverberación;

$S_0$  es  $1 \text{ m}^2$ ;

$K_i$  es la corrección en decibelios, para la distribución del campo acústico detrás del silenciador.

$L_{wII}$ : nivel de la potencia acústica, (ref.  $1 \text{ pW}$ ), en decibelios, en la banda de frecuencia considerada, que se propaga a lo largo del conducto o que radia dentro de la cámara reverberante conectada, sin el silenciador. Se determina a partir de:

$$L_{wII} = \overline{L_{pII}} + 10 \log(S_{II}/S_0) + K_{II} \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

$L_{pII}$  es el nivel de presión acústica (ref.  $20 \text{ } \mu\text{Pa}$ ), en decibelios (en bandas de octava o de tercio de octava) sin el silenciador instalado, promediado en todos los puntos de medición del ruido aéreo propagado por el conducto desde la abertura y que depende de las condiciones de instalación.

$S_{II}$  es el área de la superficie de medición detrás del silenciador correspondiente al nivel de presión acústica,  $L_{pII}$ , o un cuarto de la Absorción  $A$  de un recinto receptor reverberante, en donde se aplica la fórmula de Sabine, de forma que:

$$S_{II} = ((6 \ln 10) * V / c T_{II}) \quad [\text{m}^2] \quad (5)$$

$V$  es el volumen del recinto;

$c$  es la velocidad del sonido ( $c = 340 \text{ m/s}$ ) para el aire a temperatura ambiente;

$T_{II}$  es el tiempo de reverberación;

$S_0$  es  $1 \text{ m}^2$ ;

$K_{II}$  es la corrección en decibelios, para la distribución del campo acústico detrás del silenciador.

**3.4.- Diferencia del nivel de presión acústica de inserción,  $D_{ip}$ :** Diferencia entre los niveles de presión acústica existentes en un punto de inmisión, sin un nivel significativo de sonido de fondo, con y sin silenciador instalado. Se expresa en decibelios, dB. [1] y [2]

$$D_{ips} = L_{pII} - L_{pI} \quad [dB] \quad (6)$$

$L_{pI}$  es el nivel de presión acústica (ref. 20  $\mu$ Pa), en decibelios (en bandas de octava o de tercio de octava) de la(s) fuente(s) acústica(s), medido en un punto o promediado en una pequeña zona de medición, después de la instalación del silenciador.

$L_{pII}$  es el nivel de presión acústica (ref. 20  $\mu$ Pa), en decibelios (en bandas de octava o de tercio de octava) originado en el mismo punto de medición o en la misma pequeña zona de medición, debido a la(s) fuente(s) que debe(n) conectarse al silenciador, antes de la instalación del mismo.

**3.5.- Pérdida por transmisión,  $D_t$ :** Diferencia entre los niveles de potencia acústica incidentes en y transmitidas a través del elemento del objeto de ensayo. Se expresa en decibelios, dB. [1]

$$D_{ts} = L_{W2} - L_{W1} \quad [dB] \quad (7)$$

$L_{W1}$ : nivel (ref. 1pW), en decibelios, (en banda de octava o de tercios de octava) de potencia acústica propagada a través del silenciador hasta un conducto conectado al mismo, a un recinto o a un espacio abierto, a determinar a partir de:

$$L_{W1} = \overline{L_{p1}} + 10 \log(S_1/S_0) + K_1 \quad [dB] \quad (8)$$

Donde, dependiendo de las condiciones de instalación:

$S_1$  es el área de la superficie de medición del lado receptor del silenciador correspondiente al nivel de presión acústica,  $L_{pI}$  o un cuarto de la Absorción A de un recinto receptor reverberante, en donde se aplica la fórmula de Sabine, de forma que:

$$S_1 = ((6 \ln 10) * V / c T_1) \quad [m^2] \quad (9)$$

V es el volumen del recinto;

c es la velocidad del sonido ( $c = 340$  m/s) para el aire a temperatura ambiente;

$T_1$  es el tiempo de reverberación;

$S_0$  es 1 m<sup>2</sup>;



$K_1$  es la corrección en decibelios, para la distribución del campo acústico transmitido del lado receptor del silenciador.

$L_{w2}$ : nivel (ref. 1pW), en decibelios, (en banda de octava o de tercios de octava) de potencia acústica recibida por el silenciador, a determinar a partir de:

$$L_{w2} = \overline{L_{p2}} + 10 \log(S_2/S_0) + K_2 \quad [dB] \quad (10)$$

Donde, dependiendo de las condiciones de instalación:

$S_2$  es el área de la superficie de medición del lado fuente del silenciador correspondiente al nivel de presión acústica,  $L_{p2}$ , o un cuarto del total del área de entrada del silenciador en un recinto emisor reverberante en donde se aplica la fórmula de Sabine y en donde se miden los niveles de presión acústica  $L_{p2}$  en varias posiciones de la sala, pero no muy próximas al silenciador o a cualquier fuente sonora, de forma que:

$$S_2 = ((6 \ln 10) * V / c T_2) \quad [m^2] \quad (11)$$

V es el volumen del recinto;

c es la velocidad del sonido ( $c = 340$  m/s) para el aire a temperatura ambiente;

$T_2$  es el tiempo de reverberación;

$S_0$  es  $1 \text{ m}^2$ ;

$K_2$  es la corrección en decibelios, para la distribución del campo acústico incidente y reflejado del lado fuente del silenciador.

**3.6.- Diferencia del nivel de presión acústica por transmisión,  $D_{tps}$ :**  
Diferencia, en decibelios, entre el nivel de presión acústica medio en el lado de la fuente y el lado receptor de un silenciador [1]:

$$D_{tps} = \overline{L_{p2}} - \overline{L_{p1}} \quad [dB] \quad (12)$$

$L_{p1}$  es el nivel de presión acústica (ref.  $20 \mu\text{Pa}$ ), en decibelios (en bandas de octava o de tercio de octava) del lado del receptor del silenciador, para todos los puntos de medición utilizados para determinar el ruido aéreo en el interior del conducto o propagado desde la abertura y las superficies externas del silenciador.

$L_{p2}$  es el nivel de presión acústica (ref. 20  $\mu\text{Pa}$ ), en decibelios (en bandas de octava o de tercio de octava) del lado fuente del silenciador, para todos los puntos de medición utilizados para determinar el ruido aéreo que llega al silenciador.

3.7.- **Transición:** Elemento del conducto que conecta entre sí dos secciones del conducto con diferentes secciones rectas.

3.8.- **Conducto de sustitución:** Elemento del conducto rígido, no absorbente, con la misma longitud y secciones rectas de conexión que el objeto de ensayo.

3.9.- **Cámara reverberante:** Cámara de ensayo que cumple con los requisitos de la Norma ISO 3741.

3.10.- **Nivel del ruido de fondo:** Nivel de presión sonora medido en el recinto receptor procedente de todas las fuentes distintas al altavoz en el recinto emisor. Se expresa en decibelios, dB.

3.11.- **Rango de frecuencias de interés:** Bandas de un tercio de octava con frecuencias centrales desde 50 Hz a 5.000 Hz.

3.12.- **Objeto de ensayo:** Silenciador completo, tal y como lo suministra el fabricante/proveedor, una o varias láminas paralelas instaladas en un conducto de sustitución.

3.13.- **Nivel medio o promedio energético del nivel de presión sonora en un recinto, L:** Es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el promedio espacio-temporal del cuadrado de presión sonora y el cuadrado de la presión sonora de referencia, estando el promedio espacial extendido a todo el recinto, a excepción de aquellas partes donde la radiación directa de una fuente sonora o el campo próximo de los límites (paredes, etc.) tiene una influencia significativa. Esta magnitud se designa por L y se expresa en decibelios [3].

Si se utilizan posiciones de micrófono fijas, L viene dado por:

$$L = 10 \lg \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \quad [\text{dB}] \quad (13)$$

$L_i$  son los niveles de presión sonora  $L_1$  a  $L_n$  en n posiciones diferentes del recinto.

3.14.- **Índice de reducción acústica, R:** Es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre la potencia acústica  $W_1$  que incide sobre el elemento de ensayo y la

potencia acústica  $W_2$  radiada por el elemento de ensayo hacia el otro lado. Se expresa en dB [4].

$$R = 10 \lg \frac{W_1}{W_2} \quad [\text{dB}] \quad (14)$$

El índice de reducción sonora se evalúa como

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A} \quad [\text{dB}] \quad (15)$$

$L_1$  es el nivel de presión sonora medio en el recinto emisor, en dB;

$L_2$  es el nivel de presión sonora medio en el recinto receptor, en dB;

$S$  es el área de la abertura de ensayo libre en la que se instala el elemento de ensayo, en  $\text{m}^2$ .

$A$  es el área de absorción acústica equivalente en el recinto receptor, en  $\text{m}^2$ .

Nota: La derivación de la ecuación (15) a partir de la ecuación (14) supone que los campos sonoros son difusos y que el único sonido radiado en el recinto receptor procede del elemento de ensayo.

**3.15.- Rango de frecuencias de interés:** Bandas de un tercio de octava con frecuencias centrales desde 50 Hz a 10.000 Hz.

**3.16.- Tiempo de reverberación, T:** Tiempo requerido para que el nivel de presión sonora en un recinto decrezca en 60 dB una vez que la fuente sonora ha cesado. Se expresa en s [3].



# **4**

## **Normas de consulta y normas aplicadas**

Para el desarrollo de este proyecto se han tenido en cuenta parámetros y directrices contemplados en las siguientes normas:

UNE-EN ISO 14163: 1998 – Acústica. Directrices para el control de ruido por medio de silenciadores.

UNE-EN ISO 11820:1996 – Acústica. Medición de la pérdida de inserción de silenciadores en conductos sin flujo. Método de medición en laboratorio.

UNE-EN ISO 10140-1:5: 2010 – Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 1: Reglas de aplicación para productos específicos. Parte 2: Medición del aislamiento a ruido aéreo. Parte 4: Procedimientos y requisitos de medición. Parte 5: Requisitos para instalaciones y equipos de ensayo.

UNE-EN ISO 3382-2: 2008 – Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Tiempo de reverberación en recintos ordinarios.

IEC 60651: 2001 – Sonómetros.

IEC 60804: 2000 – Sonómetros integradores-promediadores.

IEC 60942: 1997 – Electroacústica. Calibradores acústicos.

IEC 61260: 1995 – Electroacústica. Filtros de banda de octava y de banda de una fracción de octava.

# **5**

## **Diseño del sistema de ensayo de silenciadores**

## **5.1. Pautas para el diseño del sistema de ensayo de silenciadores.**

El sistema que se diseña pretende simular las condiciones que se dan en un recinto en el que se ha de instalar un silenciador para la atenuación de los niveles de ruido que puedan transmitirse.

Su diseño se realiza a base de material metálico y absorbente empleados ambos en la industria para la insonorización.

Será necesario asegurar que el sonido generado por la fuente de ruido pasa única y exclusivamente a través de los silenciadores para obtener su atenuación real y afirmar que no existe otro camino o medio de transmisión que influya en los resultados obtenidos.

También se evitará mediante junta elástica la posible transmisión de vibraciones entre los distintos elementos que componen el sistema de ensayo.

## **5.2. Diseño del sistema de ensayo de silenciadores.**

Las mediciones de los niveles sonoros se efectuarán dentro de la cámara por lo que se determina que el espacio más recomendable para colocar el sistema de ensayo es el hueco de la puerta sencilla que tiene como acceso la cámara reverberante.

El sistema pues deberá tener un elemento resistente al ruido que posea las dimensiones del hueco de la puerta y en el cual puedan alojarse los distintos silenciadores que deseen ensayarse y además debe de asegurar que la trayectoria de propagación del sonido atraviese el silenciador a ensayar.



Se diseña un sistema mecano compuesto de varios elementos que cumplan las premisas anteriormente definidas. Los elementos son: Un sistema vertical compuesto de dos bastidores, paneles y tubos complementarios, caja para el alojamiento de la fuente, transición, conducto, bancada de apoyo móvil y tres tipos de silenciadores. Todos estos elementos se definen en la figura 1 y quedan detalladamente reflejados en el plano 8/8 SIST, “Componentes del sistema vertical”.

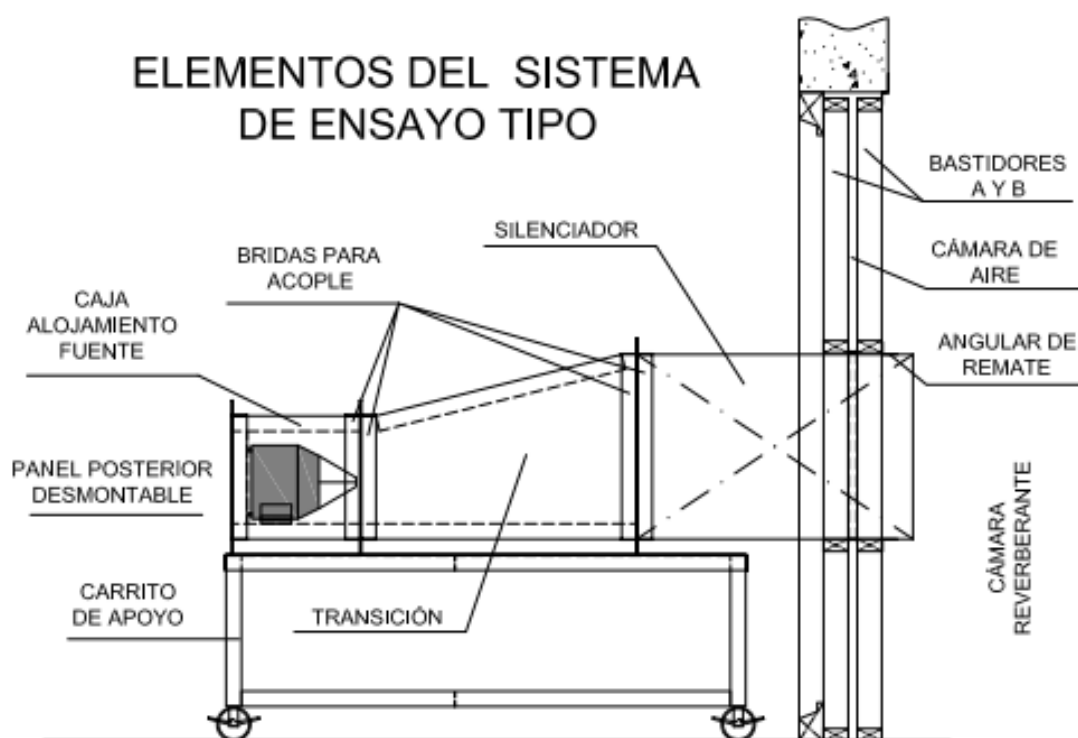


Figura 1. Elementos componentes del sistema de ensayo.

### **5.2.1. Sistema vertical**

El elemento principal del mecano, está compuesto por un cuerpo de dos bastidores metálicos colocados simétricamente, con las dimensiones del hueco de la puerta. En las figuras 3 y 6 pueden verse imágenes de ambos bastidores fabricados.

Cada bastidor tiene 1.055 x 2.100 mm de dimensiones y 80 mm de espesor. Están realizados ambos a partir de dos largueros o montantes verticales de tubo de acero conformado galvanizado 80.40.2 y cuatro travesaños horizontales también en tubo de 80.40.2. En los huecos que se forman en la parte superior e inferior de cada bastidor se han insertando paneles acústicos. En la parte intermedia del bastidor se deja el hueco para la inserción de los silenciadores. La figuras 2 y 5 muestran los elementos descritos que conforman cada bastidor.

Los paneles están fabricados por una chapa galvanizada en uno de sus lados de 1,2 mm de espesor, dos mantas de lana mineral de distinta densidad con velo negro de protección en la cara exterior y terminación en chapa galvanizada perforada con el 43 % de perforaciones y 0,8 mm de espesor. Apoyan, sobre los travesaños y se fijan al bastidor con unos tapajuntas de chapa metálica.

Al bastidor que queda por el lado de la cámara reverberante, bastidor B, se le ha provisto de un perfil perimetral en forma de “Z” con pletinas soldadas que permita su fijación a las jambas del hueco de la puerta. En este bastidor, se ha previsto también un perfil en forma de “U” colocado en el perímetro del hueco central, de tal manera, que permita, al superponer los bastidores, la existencia de una cámara de aire entre ambos como se muestra en la figura 7.

Para asegurar la imposibilidad de vuelco del bastidor A durante el montaje se le ha dotado de unas piezas en forma de “Z” que mediante su giro permiten fijarlo al bastidor de la puerta acústica existente, estos elementos son desmontables y se presentan en la figura 4.

# DETALLE BASTIDOR METÁLICO A

## ALZADO

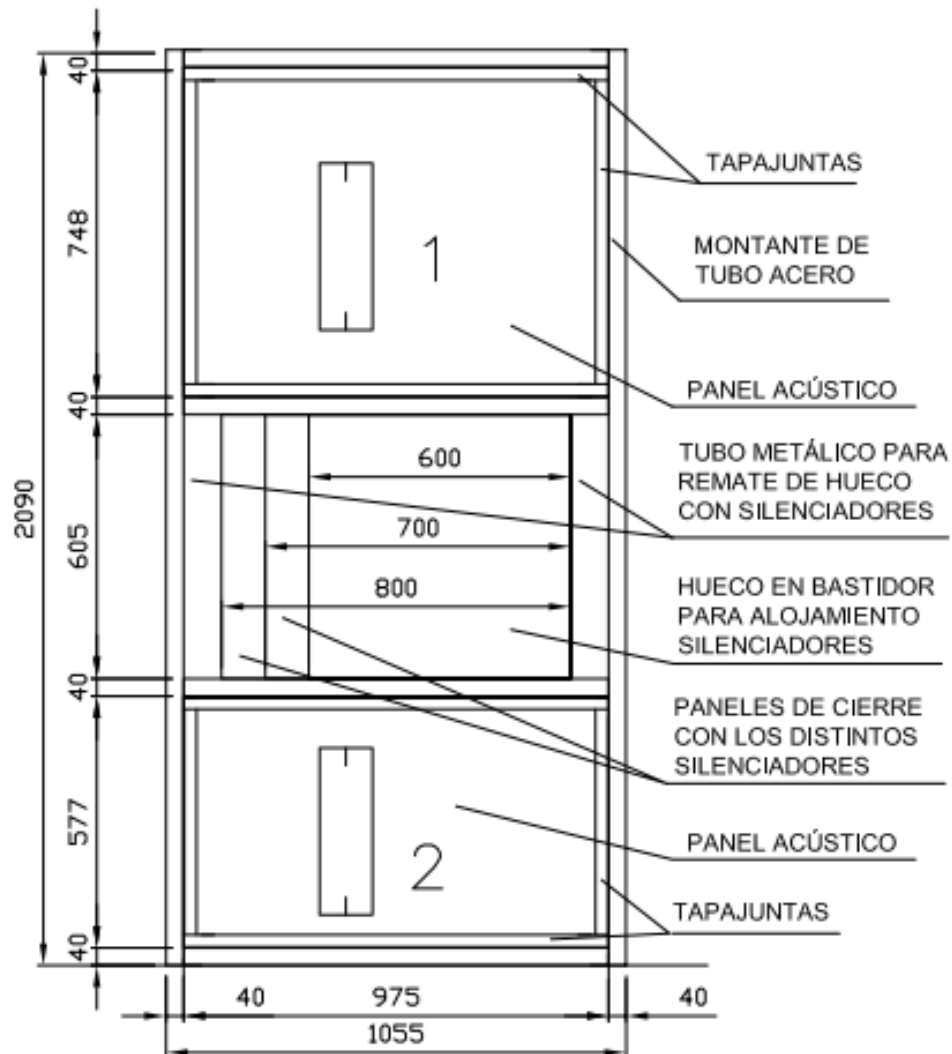


Figura 2. Detalle de los componentes del bastidor A



Figura 3. Vistas de bastidor A por cara chapa lisa y por cara chapa perforada respectivamente.



Figura 4. Detalle perfil "Z" y pletina en bastidor A para sujeción durante montaje en hueco puerta sencilla cámara reverberante y fijación de paneles de cierre respectivamente.

# DETALLE BASTIDOR METÁLICO B

## ALZADO

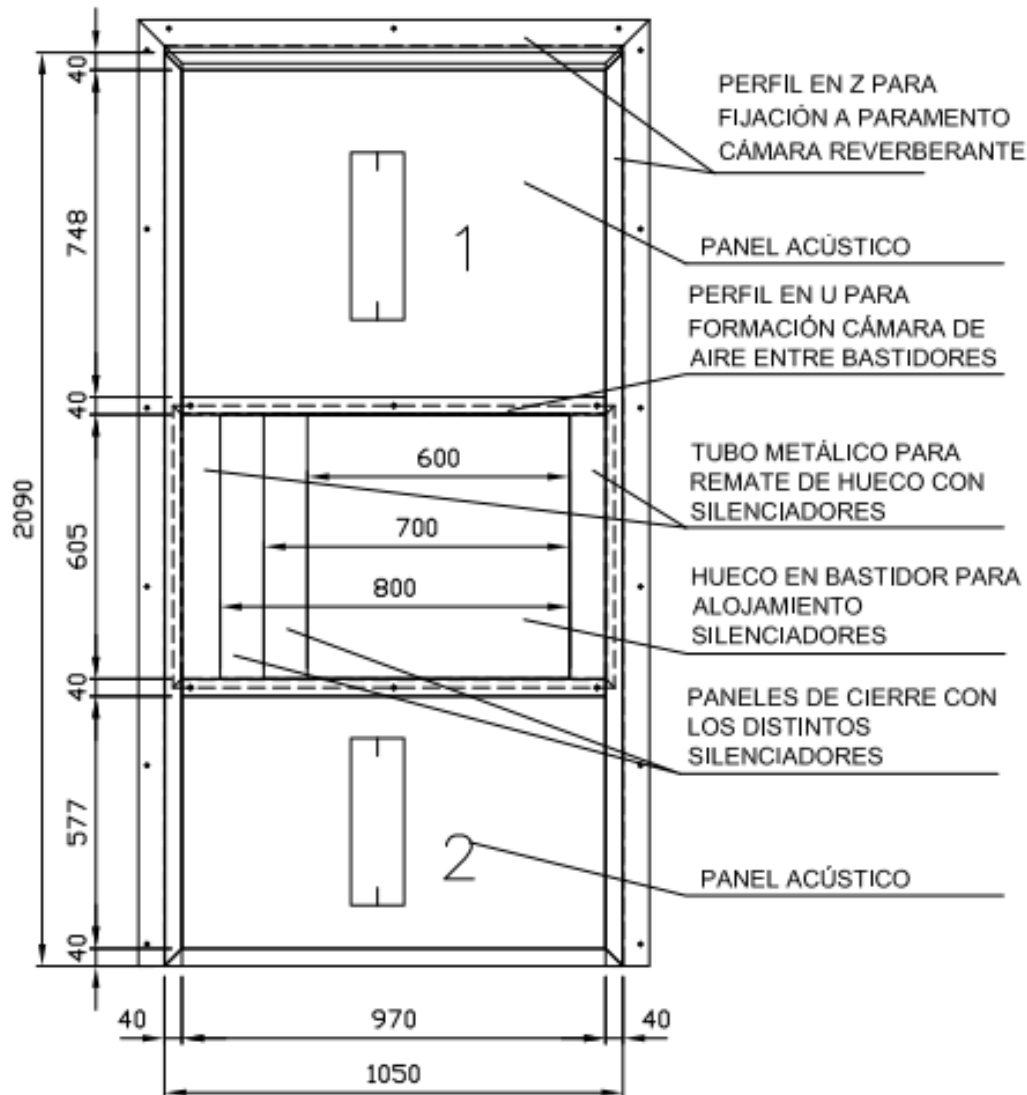


Figura 5. Detalles del bastidor B.



Figura 6. Vistas de bastidor B por cara chapa lisa y por cara chapa perforada respectivamente.



Figura 7. Detalle perfil U en bastidor B para formación de cámara de aire.

En las figuras 8 y 9, se presentan imágenes de la colocación de los bastidores en el hueco de la puerta sencilla de acceso desde el laboratorio a la cámara reverberante. Los planos de su diseño se adjuntan en el anexo I y abarcan los planos del 1/8 SIST al 4/8 SIST de detalle del diseño de cada bastidor y posición en hueco. El plano de montaje es el 1/5 AT “Montaje Bastidores Sistema”



Figura 8. Sistema vertical para inserción de los silenciadores a ensayar instalado en hueco de puerta sencilla de cámara reverberante, visto desde el interior.



Figura 9. Sistema vertical para inserción de los silenciadores a ensayar instalado en hueco de puerta sencilla de cámara reverberante, visto desde el exterior de la cámara.

La estanqueidad del sistema al sonido se consigue mediante paneles de cierre ilustrados en las figuras 10, 11 y 12 que tiene los tamaños adecuados para completar el ancho del hueco con la medida de cada uno de los silenciadores previstos para ensayar.



Los paneles de remate consisten en un conjunto de dos paneles acústicos con las dimensiones adecuadas para realizar el cierre del hueco que queda en el bastidor una vez instalado el silenciador a ensayar. Se han fabricado tres conjuntos de paneles de cierre, uno para cada dimensión de silenciador, su definición se incluyen en el plano 7/8 SIST "Detalle caja de alojamiento, transición, carrito de apoyo y paneles de remate.



Figura 10. Tubo de cierre lateral derecho con cajado para su perfecto acoplamiento bastidor de puerta.



Figura 11. Vista frontal de tubo de cierre lateral derecho con cajado.



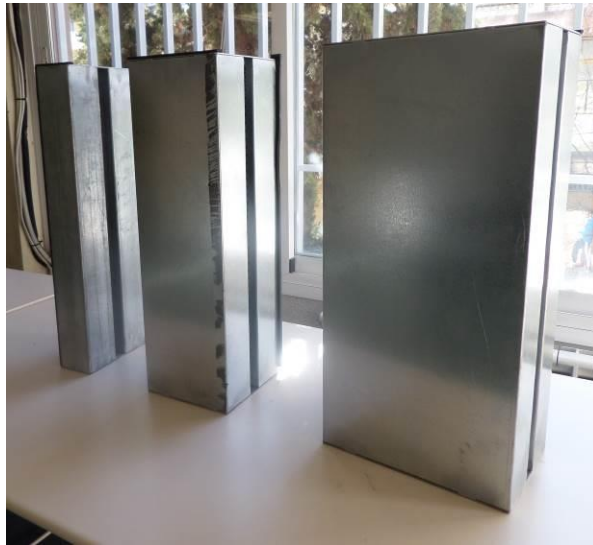


Figura 12. Paneles de cierre lateral izquierdo en sistema vertical de ensayo complementarios a los silenciadores de 800 x 600, 700 x 600 y 600 x 600 de izquierda a derecha respectivamente.

### **5.2.2. Silenciadores**

Se ha previsto ensayar tres tipos de silenciadores.

Se definen los silenciadores como un dispositivo que, permitiendo el paso de aire, actúa convirtiendo parte de la energía acústica en energía térmica por medio de materiales absorbentes, produciendo así una atenuación del nivel sonoro.

Los silenciadores son de tipo rectangular de celdillas de absorción. Se componen de una envolvente exterior fabricada con chapa galvanizada de 1 mm, celdillas de absorción de lana mineral de densidad 70 K/m<sup>3</sup> y velo de protección contra el desprendimiento de partículas, insertadas en una envolvente de chapa galvanizada de 1 mm de espesor. Los componentes del silenciador se especifican en la figura 13.

Las celdillas de absorción o baffles tendrán un espesor de 100 mm en los extremos y de 200 mm en el interior. El silenciador lleva una brida de chapa galvanizada con tuercas remachables y tornillos en el lado de la fuente como se observa en las figuras 14, 15 y 16, para su acoplamiento a la transición, que le

confiere rigidez para su traslado, y unos angulares en el lado trasero que se instalarán una vez insertado en el hueco, que aseguran la estanqueidad con los paneles superiores, inferiores y laterales del bastidor vertical exterior.

### COMPONENTES DEL SILENCIADOR TIPO

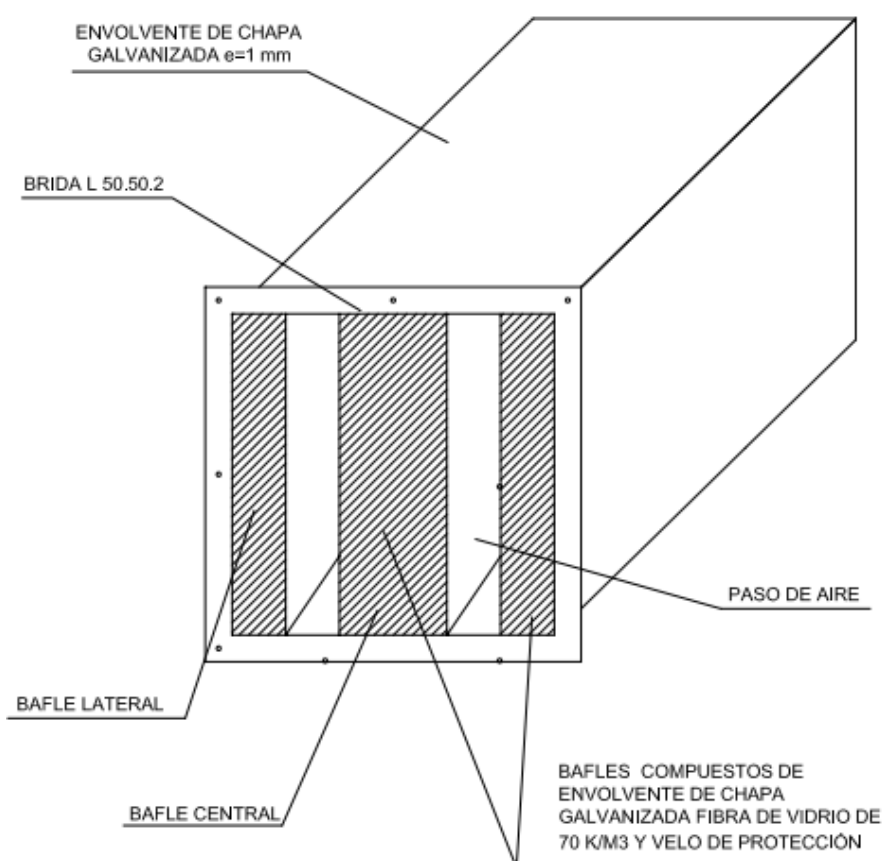


Figura 13. Componentes del silenciador tipo.

Los silenciadores previstos para ensayar son de celdilla tipo 100-200, 150-200 y 200-200, la primera cifra especifica el ancho de paso de aire y la segunda cifra el espesor de la celdilla o baffle.

Las dimensiones frontales de los silenciadores son: 600 x 600, 750 x 600 y 800 x 600 mm respectivamente y de longitud 900 mm para todos ellos.

Todos los silenciadores llevan una junta elástica que impide la posible transmisión de vibraciones y asegura la continuidad del sonido a través del conjunto, detalle que puede apreciarse en las figuras 14, 15 y 16.



Figura 14. Silenciador tipo 100-200 de 600 x 600 x 900 mm de dimensiones.



Figura 15. Silenciador tipo 150-200 de 750 x 600 x 900 mm de dimensiones.

Los planos donde quedan reflejados y definidos tanto los tres tipos de silenciadores como los componentes de estos son: el plano 5/8 SIST y el 6/8 SIST. “Silenciador tipo” y “Silenciadores de ensayo 100-200”; 150-200; 200-200.



Figura 16. Silenciador tipo 200-200 de 800 x 600 x 900 mm de dimensiones.

### 5.2.3. Conducto de sustitución

El conducto de sustitución es un elemento horizontal del conjunto, fabricado con chapa galvanizada, sin material absorbente y con las mismas secciones rectas de conexión que el objeto de ensayo, se muestra en la figura 17.

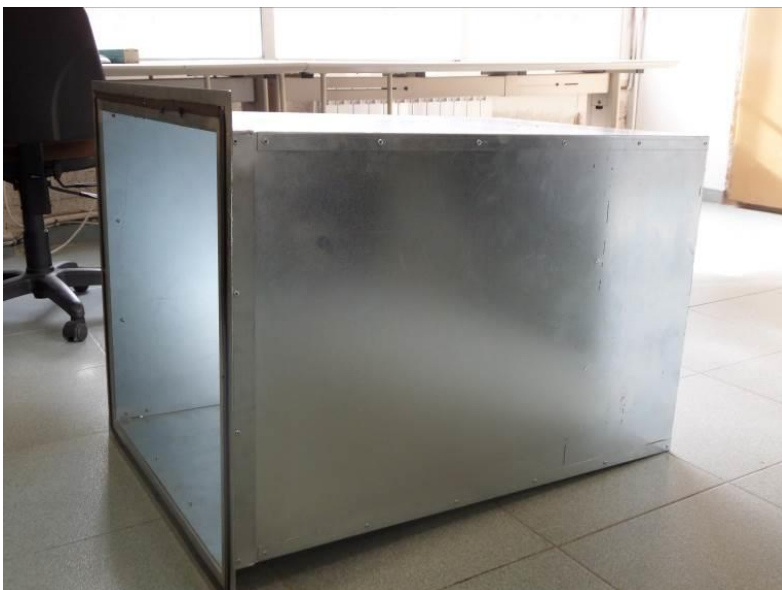


Figura 17. Imagen del conducto de sustitución.

#### 5.2.4. Transición

La transición es otro de los elementos horizontales del sistema diseñado cuya función es la de conectar la caja de alojamiento de la fuente con el silenciador, consiguiendo la dirección deseada de propagación del sonido emitido por la fuente.

Está formada por cuatro paneles acústicos de 50 mm de espesor con forma trapezoidal, tal y como se aprecia en la figura 18, unidos mediante soldadura. Los paneles acústicos se fabrican con una chapa galvanizada en el lado exterior de 1,2 mm de espesor, una manta de lana mineral con velo negro de protección en la cara exterior y terminación en chapa galvanizada perforada con el 43 % de perforaciones y 0,8 mm de espesor.

Se colocan dos bridas, una en cada una de sus caras abiertas, delantera y trasera. A la delantera se le ha dotado de tuercas remachables y tornillos para poder facilitar el montaje y desmontaje y a la trasera de taladros para los tornillos de fijación.

## COMPOSICIÓN TRANSICIÓN

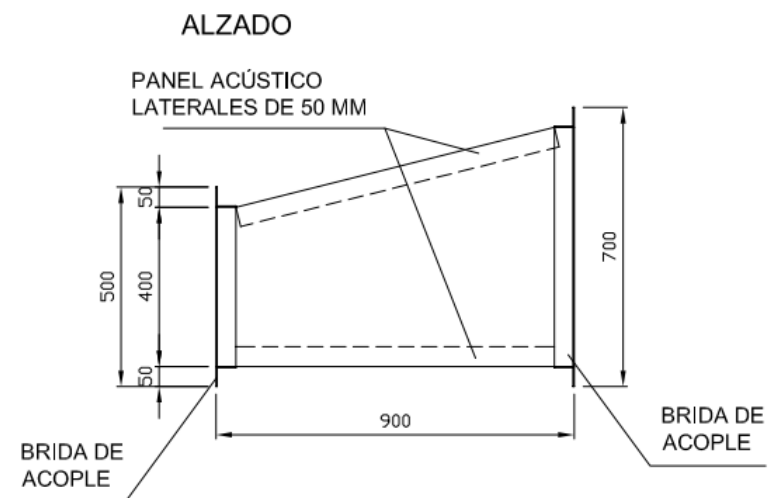


Figura 18. Componentes de la transición.



Figura 19. Vista lateral de la transición.

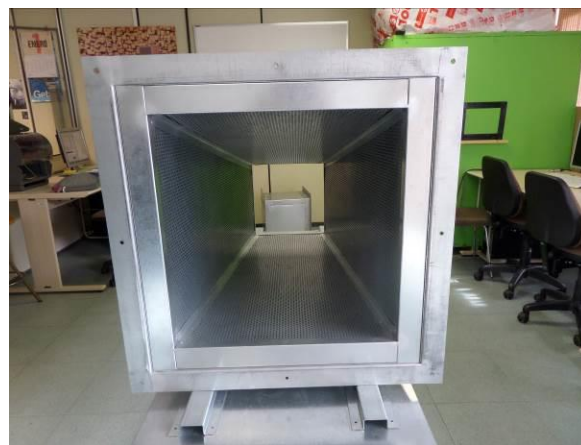


Figura 20. Vista frontal de la transición.

El desarrollo de la transición, así como el de la caja de alojamiento que se verá a continuación en el apartado 5.2.5, se representan en el plano 7/8 SIST “Detalle caja de alojamiento, transición, carrito de apoyo y paneles de remate”.

### 5.2.5. Caja para alojamiento de fuente sonora.

La caja de alojamiento de la fuente consiste en un cubo donde cinco de los laterales están fabricados a base de paneles acústicos quedando el sexto libre. Se incluyen en la figura 21, el detalle de los elementos que la componen y en las figuras 22 y 23 una vista frontal y otra lateral de la caja.

Los paneles acústicos son de 50 mm de espesor y de la misma composición que los definidos para la transición, de chapa lisa al exterior y chapa perforada al interior. En la vista frontal presentada en la figura 22 se aprecia este detalle.

El panel trasero, presentado en detalle en las figuras 24 y 25, es desmontable para poder facilitar la colocación de la fuente sin necesidad de desmontar el mecano. También lleva una brida con taladros en la parte posterior para poder fijarlo a la transición.

Se le coloca en el interior un dispositivo para el correcto apoyo para la fuente.

#### COMPOSICIÓN CAJA ALOJAMIENTO FUENTE

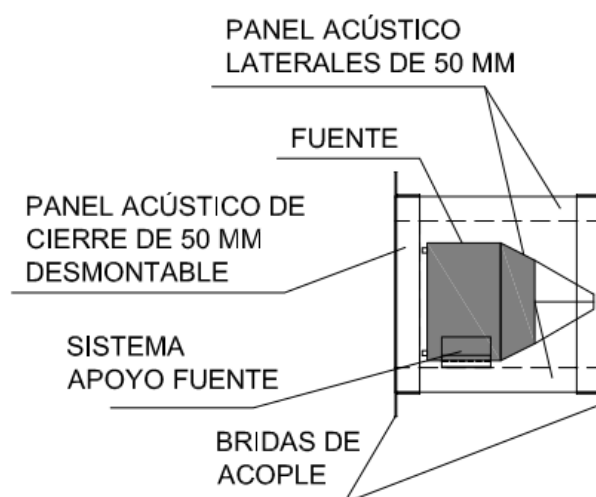


Figura 21. Componentes de la caja de alojamiento.



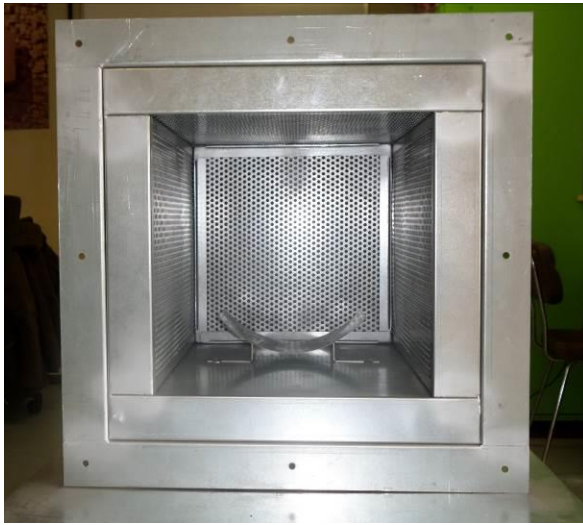


Figura 22. Vista frontal de la caja de alojamiento de la fuente.

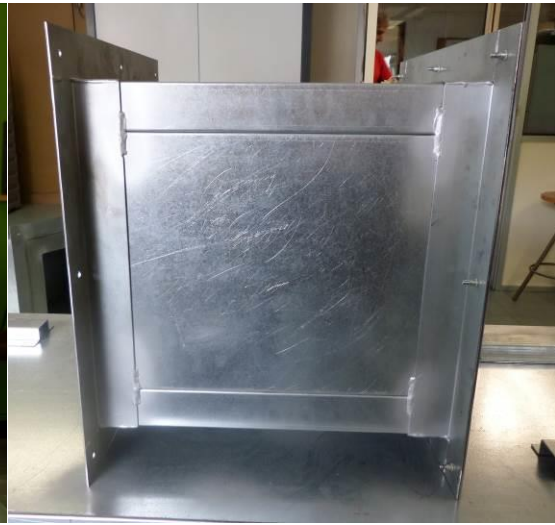


Figura 23. Vista lateral de la caja de alojamiento de la fuente.

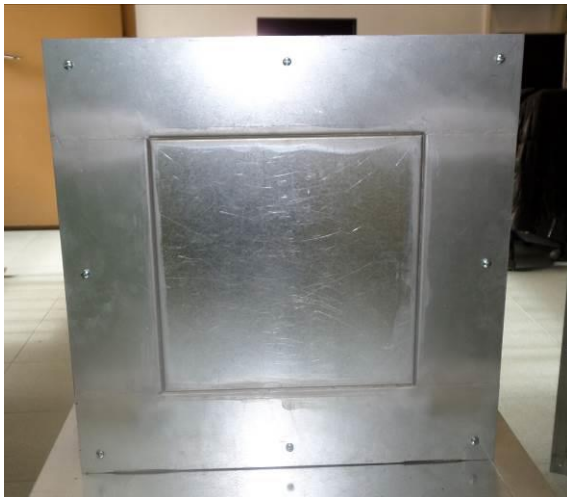


Figura 24. Vista posterior del panel trasero desmontable de la caja de alojamiento de la fuente.

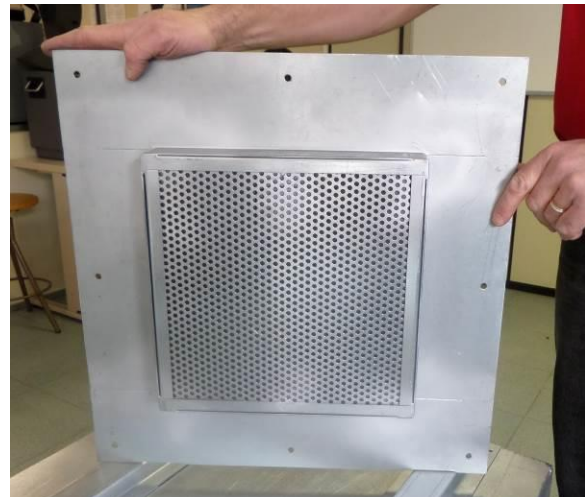


Figura 25. Vista frontal del panel trasero desmontable de la caja de alojamiento de la fuente.



# **6 Aislamiento a Ruido Aéreo.**

## 6.1. Bases teóricas sobre el aislamiento a ruido aéreo de un elemento finito simple.

La determinación del aislamiento real de un elemento finito es compleja. Existen varios parámetros que actúan en función de multitud de factores.

Se entiende como partición simple, aquella que tiene sus dos caras exteriores unidas rígidamente, de tal manera que se mueven como si fuese una, y los puntos de la masa que se encuentran en la misma normal no modifican su distancia cuando la pared realiza vibraciones. Esto no implica necesariamente que tenga que ser homogénea, puede estar conformada por distintos materiales siempre que cumpla la premisa anterior.

La construcción tipo sándwich que nos atañe, actúa como una partición simple, y esto es debido a que la unión entre sus dos caras se realiza mediante una bandeja en forma de “U” autoremachada, fijando ambas chapas.

Los parámetros que afectan al aislamiento de una partición en mayor medida son: la masa, la rigidez de la partición, las resonancias, los efectos de coincidencia y la estanqueidad. En función de la frecuencia, varía el aislamiento.

Las particiones compuestas de materiales rígidos, aquellos cuya densidad es superior a la unidad, impermeables al aire, normalmente homogéneos, pero no obligatoriamente isótropos, siguen una ley teórica en cuanto a su comportamiento aislante al sonido incidente. La ley que gobierna el aislamiento para estos materiales es conocida como la Ley de Masas o Ley de Berg. Esta ley predice la pérdida por transmisión en tercios de octavas en campo reverberante de particiones delgadas, homogéneas y simples mediante la ecuación 16 [5]:

$$TL = 20 * \log_{10}(mf) - 47 \text{ [dB]} \quad (16)$$

Dónde: TL = Pérdida por transmisión, [dB]

m = masa de la superficie, [kg/m²]

f = frecuencia, [Hz]

La gráfica de la figura 26, representa el comportamiento de un elemento finito y analizándola, se pueden observar tres zonas muy diferenciadas.

La zona 1, es la zona donde domina la elasticidad, es la zona del rango de frecuencias en que la pérdida por transmisión de una partición está controlada por su rigidez. La rigidez es la propiedad que posee un material o elemento estructural para soportar deformaciones.

Los paneles finitos, se caracterizan por estar todos o algunos de sus bordes unidos rígidamente a una determinada estructura, por lo que al ser excitados, se producen movimientos ondulatorios debidos, fundamentalmente, a la presencia de ondas reflejadas producidas en los bordes de los mismos. La interferencia de estas ondas, producen ondas estacionarias, las cuales se traducen en movimientos de gran amplitud en sentido longitudinal y transversal del panel.

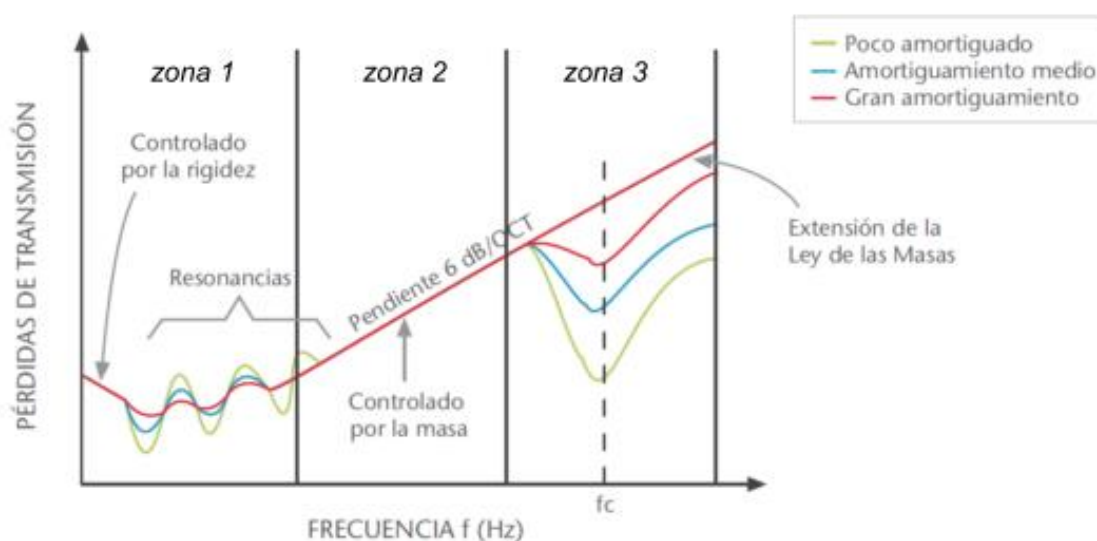


Figura 26. Comportamiento del aislamiento de una pared simple en función de la frecuencia.

Las resonancias ocurren en el panel, cuando las ondas sonoras incidentes, poseen las mismas frecuencias que las propias del panel debidas a sus dimensiones, a sus características físicas y a sus formas de sujeción. Cuando se producen resonancias, la vibración del panel adquiere una gran importancia.

Las frecuencias de resonancia del panel vienen dadas por la ecuación 17 [5]:

$$f_{mn} = k * C_L * e \left[ \left( \frac{m}{l_x} \right)^2 + \left( \frac{n}{l_y} \right)^2 \right] [Hz] \quad (17)$$

Dónde: m,n son el número de modos

k es la constante según tipo de fijación de bordes

$C_L$  es la velocidad de propagación de la onda longitudinal [N/m<sup>2</sup>]

e es el espesor del material [m]

$l_x, l_y$  son las dimensiones del panel

Cuanto mayor sea la deformación de los materiales que lo forman al ser penetrados por la onda sonora, menor será el aislamiento que presente.

En la zona 2 de la gráfica de la figura 26, el aislamiento sigue prácticamente la Ley de Masas. En campo reverberante y si se realiza la evaluación en tercios de octava, la ecuación que mejor se ajusta es la ecuación 16:

La ley de masas nos indica pues, que el aislamiento en dB es proporcional al cuadrado de la masa por unidad de superficie de la partición (M) y también al cuadrado de la frecuencia (f). Es decir, el aislamiento aumenta con la densidad superficial del tabique y con el aumento de frecuencia. Según la ecuación 16, si duplicamos la masa de la pared, el aislamiento aumenta 6 dB y del mismo modo, dado un panel de masa M, su aislamiento se incrementará en 6 dB al duplicar la frecuencia [6].

La última zona de la gráfica de la figura 26, la zona 3, es la controlada por la amortiguación interna. En este rango de frecuencias, el efecto más pronunciado sucede en la frecuencia crítica, en que la longitud de onda de las ondas libremente flexionadas en el panel coincide con la longitud de onda del sonido incidente. Cuando esto sucede, se produce un acoplamiento entre las ondas y al ser ambas de la misma frecuencia y transmitirse a la misma velocidad, el aislamiento teórico será nulo para esta frecuencia, la cual se la denomina frecuencia crítica.

Se estima que deja de cumplirse la Ley de Masa a una frecuencia igual a la mitad de la frecuencia crítica. A partir de esta frecuencia el aislamiento de esta zona es entre 10 y 20 dB inferior al esperado. La frecuencia crítica de un panel (ecuación

18) puede determinarse a partir de la expresión para las longitudes de onda superior a 6 veces el espesor del panel analizado [5].

$$f_c = \frac{6,4 \times 10^4}{e} \sqrt{\frac{\rho_0(1-\sigma^2)}{B}} [dB] \quad (18)$$

Dónde:  $f_c$  es la frecuencia crítica

$e$  es el espesor del paramento [m]

$\rho_0$  es la densidad del material [kg/m<sup>3</sup>]

$\sigma$  el coeficiente elástico de Poisson del material

$B$  el Módulo de Bulk [N/m<sup>2</sup>] (rigidez de la partición por unidad de anchura)

A modo de resumen con mayor precisión, podemos concluir con que la predicción del aislamiento de una partición en función de la frecuencia está dividida en cinco zonas.

Las zonas 1 y 2 de este resumen estarían contempladas en la zona 1 de la gráfica de la figura 26, la zona 3 del resumen equivaldría a la zona 2 de la gráfica de la figura 26 y la zona 3 de esta figura abarcaría tanto la zona 4 como la 5 del resumen.

- Zona 1 ( $f < f_{11}$ ): zona controlada por la rigidez. Abarca desde la frecuencia natural de la partición ( $f_0$ ) que se obtiene de la ecuación 19, hasta la frecuencia del primer modo ( $f_{11}$ ) según la ecuación 17. Cuanta mayor rigidez menor aislamiento.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{B}{m_s}} [Hz] \quad (19)$$

El aislamiento vendrá dado por la ecuación 22:

$$R = 20 * \log(s) - 20 * \log(f) - 74.2 [dB] \quad (20)$$

- Zona 2 ( $f_{11} < f < 2f_{11}$ ): zona controlada por las resonancias del sistema. No existe una expresión que nos indique la variación de la reducción acústica en este margen de frecuencias.
- Zona 3 ( $2f_{11} < f < f_c/2$ ): zona controlada por la masa. En este rango de frecuencias se aplica la Ley de Masa a incidencia de campo. El aislamiento lo obtenemos mediante la ecuación 16:
- Zona 4 ( $f \approx f_c$ ): Frecuencias próximas a la frecuencia crítica. Existe una importante disminución del aislamiento como consecuencia del efecto coincidencia. La frecuencia crítica que se calcula a partir de la ecuación 18 y el aislamiento lo define la expresión 21:

$$R = 20 * \log(fm_s) + 10 * \log(\eta) + 10 * \log\left(\frac{\Delta f}{f_c}\right) - 44 [dB] \quad (21)$$

- Zona 5 ( $f_c < f$ ): La frecuencias situadas por encima de la frecuencia crítica se ven afectadas por el factor de pérdidas total ( $\eta$ ), este factor contempla las pérdidas internas, las debidas a las ondas de flexión libre y las debidas al acoplamiento en el perímetro de la partición. Cuanto mayor sea el factor mejor será el aislamiento.

Podemos definir el aislamiento mediante la expresión de la ecuación 22:

$$R = 20 * \log(fm_s) + 10 * \log(\eta) + 10 * \log\left(\frac{f}{f_c} - 1\right) - 44 [dB] \quad (22)$$

## 6.2. Ensayo de Aislamiento a Ruido Aéreo.

### 6.2.1. Características de las instalaciones de ensayo.

La instalación de ensayo de laboratorio consta de dos recintos reverberantes adyacentes con una abertura entre ellos, donde se inserta el elemento a ensayar. El plano 1/1 CR “Cámara reverberante y huecos de interés” muestra gráficamente las dimensiones de la cámara y la disposición de los recintos.

El área de abertura del ensayo tiene una superficie de 9.8 m<sup>2</sup>.

El recinto emisor tiene un volumen de 110.87 m<sup>3</sup> siendo el más grande y el recinto receptor es de 90.36 m<sup>3</sup>, superando el 10% recomendado de la diferencia de volumen.

Ambos recintos poseen elementos de difusión para evitar la presencia de ondas estacionarias. Las figuras 27 y 28 presentan imágenes de ambos recintos y en ellas se pueden observar los elementos de difusión repartidos en toda la superficie del techo.



Figura 27. Recinto emisor.



Figura 28. Recinto receptor.

### **6.2.2. Procedimiento de ensayo.**

Se emplean los dos recintos adyacentes horizontales que componen el laboratorio de acústica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación. Para la realización de la medición del aislamiento a ruido aéreo de paneles acústicos, considerando uno como recinto emisor y el otro como receptor.

Se monta el elemento de ensayo en la abertura de la pared de separación entre estos recintos.

La posición del elemento con respecto a la discontinuidad se representa en la sección vertical que muestra la figura 29.

Para el buen montaje, se colocan en primer lugar unos perfiles en forma de “U” en las jambas del hueco, a lo largo de todo su perímetro salvo en la zona central de la parte superior y la inferior, como puede observarse en las figuras 30 y 31. Estos perfiles tienen el objetivo de absorber irregularidades del hueco y permitir un mejor sellado entre el cerramiento de paneles y la partición.

Posteriormente se cubre la abertura completa con el material. El material está dividido en paneles individuales de 0.6 x 2.1 m.

La colocación de los paneles se realiza situándolos en la parte central y haciéndolos correr hasta su posición. Los laterales de los paneles llevan por un lado una pestaña y por el otro una hendidura, de tal manera que van machihembrados evitando la existencia de fugas en la unión entre ellos. El proceso de montaje se presenta en las figuras 32 y 33.



## DETALLE MONTAJE ENSAYO

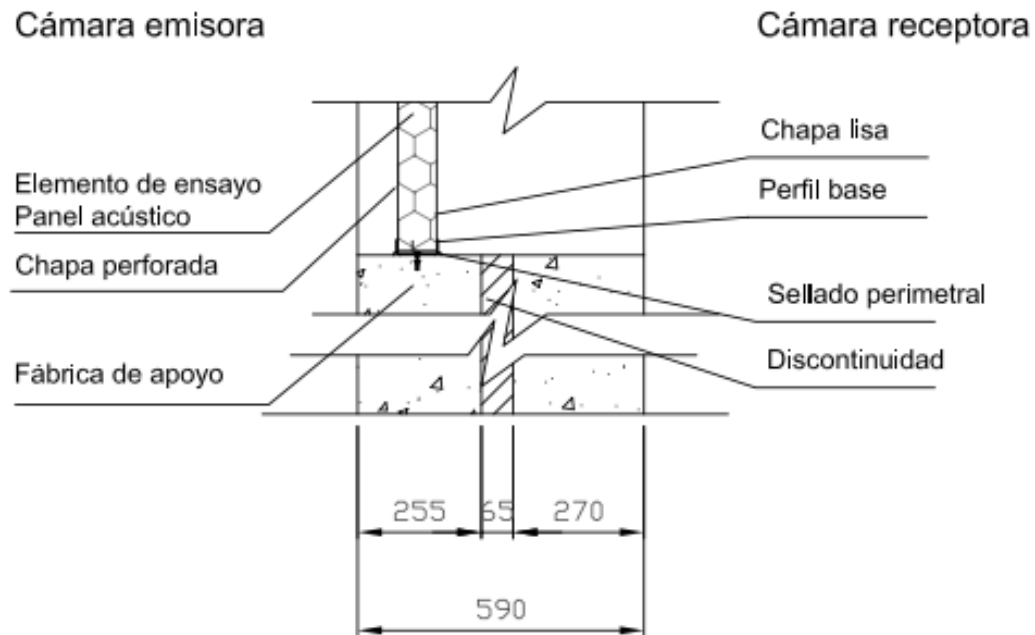


Figura 29. Disposición en el montaje del elemento de ensayo.



Figura 30. Colocación perfiles en "U" en las jambas verticales del hueco.



Figura 31. Colocación perfiles en "U" horizontales.



Figura 32. Introducción de paneles por zona central.



Figura 33. Se desplazan por el perfil en "U" hasta llevarlos a su sitio.

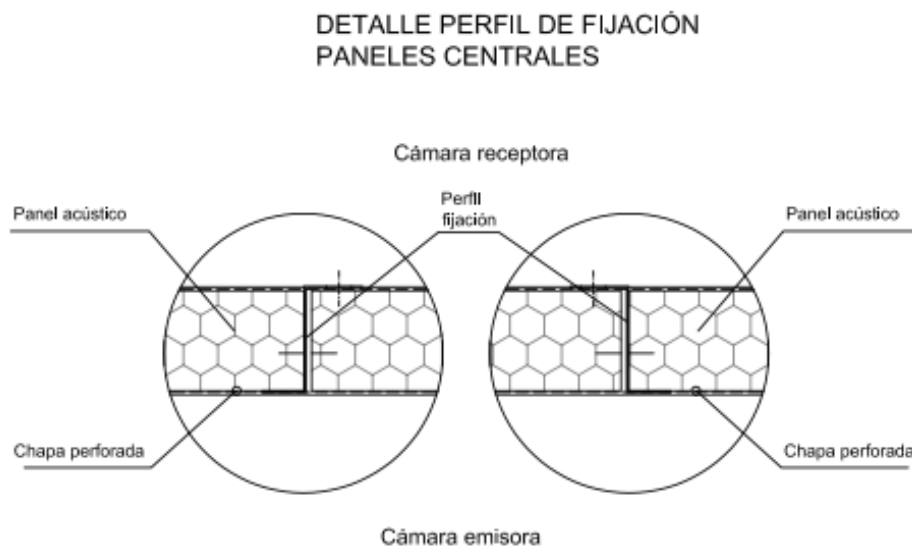


Figura 34. Detalle del perfil de fijación para los paneles centrales.

## DETALLE PERFIL DE FIJACIÓN BASTIDOR

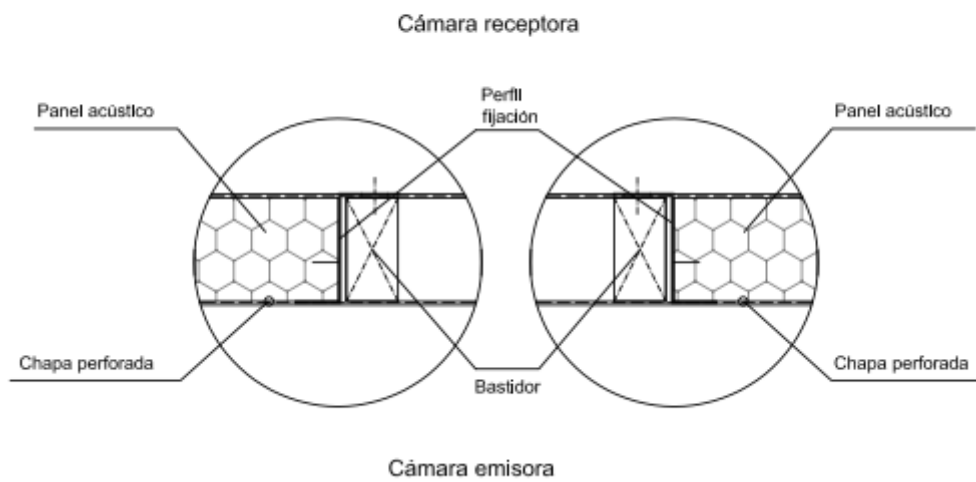


Figura 35. Detalle del perfil de fijación para el bastidor A sustituyendo los paneles centrales.



Figura 36. Imagen del hueco central con los perfiles para recibir los paneles o bastidor de ensayo.

El diseño se realizó para que los dos paneles centrales pudieran ser sustituidos por el bastidor A empleado en el ensayo de los silenciadores, por lo que los paneles adyacentes llevan un perfil donde se fijan a los centrales, que en este caso concreto al sustituir al machihembrado, es el que evita la existencia de fugas. Las figuras 34 y 35 muestran el detalle de como el perfil sirve para ambas opciones, tanto para recibir los paneles centrales como para sujeción del bastidor A.

En la figura 36 se muestra una imagen del hueco central con los perfiles listos para recibir, en este caso los paneles centrales.

Una vez colocados todos los paneles incluido los centrales, tal como se ve en la figura 37 y después de sellar todo el perímetro de los perfiles en “U” contra la fábrica con material elástico tipo silicona como aprecia en la imagen de la figura 38, tendríamos la muestra preparada para ensayar.

El material a ensayar se instala de forma similar a la construcción real, donde también se embute en unos perfiles en forma de “U” que regularizan los huecos y que permiten un sellado continuo de todo el perímetro.



Figura 37. Imagen del hueco completamente cerrado con panel.



Se genera en el recinto emisor un campo acústico difuso mediante un altavoz en tres posiciones fijas y se miden los niveles de presión acústica, en seis posiciones independientes del recinto emisor y del receptor, en el rango de frecuencias de 50 Hz hasta 5000 Hz. Se miden también en el recinto receptor el tiempo de reverberación, a partir del cual se obtiene el área de absorción acústica equivalente y el nivel de ruido de fondo.

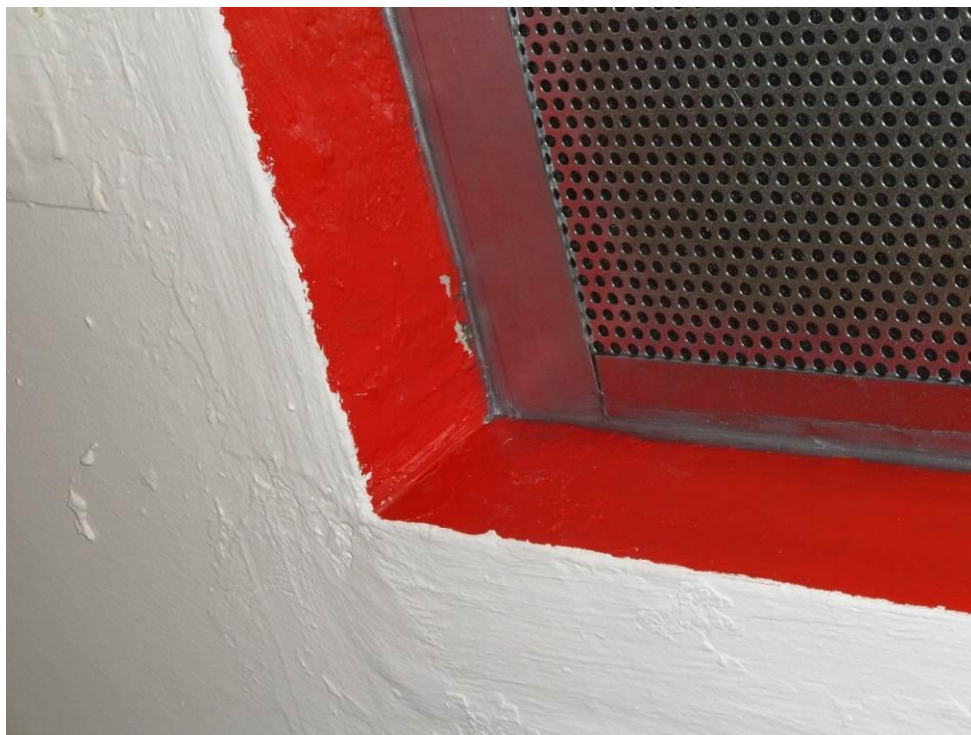


Figura 38. Detalle de sellado perimetral del perfil en "U" contra la fábrica.

Debido a que el elemento de ensayo tiene una superficie significativamente más absorbente que otra, se ha montado la superficie con la absorción más elevada hacia el recinto emisor, tal y como indica la norma y como habitualmente suele instalarse.

Se ha procedido a ajustar el recinto receptor, introduciendo materiales absorbentes (figura. 39).

En los planos del 1/4 ARA al 4/4 ARA del anexo I se presentan los planos de diseño y el proceso de montaje de paneles.



Figura 39. Imagen sala receptora ajustada con material absorbente.

### **6.2.3. Procedimiento de medición.**

Se realiza el ensayo de medición de ruido aéreo empleando la norma UNE-EN ISO 10140. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción.

Se ha realizado un estudio para las posiciones de fuente y de micrófono donde se han contemplado los valores mínimos exigidos por la UNE EN ISO 10140 – 4. Las posiciones de una y otros quedan reflejadas en el plano 1/1 MED AISL del anexo II, el cual incluye las zonas afectadas por las distancias mínimas que se han de respetar y la disposición tanto de las posiciones de micrófono como de fuente.

Todas las magnitudes se miden utilizando filtros de banda de tercio de octava desde los 100 Hz hasta los 5000 Hz y además se desea información adicional de las bajas frecuencias por lo que se contemplan también las frecuencias de 50, 63 y 80 Hz.

Para efectuar la medición, la fuente se ha colocado en tres posiciones fijas, en cada posición se genera un ruido blanco para tener un espectro lo más continuo en el rango de frecuencias, donde el espectro sonoro promedio en el recinto emisor, por encima de los 100 Hz, no tiene una diferencia de nivel superior a 6 dB entre las bandas de tercio de octava adyacentes.

Debido al análisis del comportamiento del elemento de ensayo en baja frecuencia y teniendo en cuenta que manejamos volúmenes de recintos entre 50 y 100 m<sup>3</sup>, el campo acústico en estas frecuencias no es difuso.

Por cada posición de altavoz, se han definido seis posiciones de micrófono, tanto en la sala emisora como en la receptora y se ha obtenido en cada una de ellas, el nivel sonoro de emisión, el nivel sonoro de recepción y el tiempo de reverberación. Además se ha medido en alguna posición de la sala receptora el ruido de fondo para verificar la posible afección sobre el nivel de ruido recibido por el micrófono. Los puntos de medición del ruido de fondo se han elegido aleatoriamente y en cada posición de fuente se seleccionaban dos puntos distintos. La distribución de posiciones se indica en el plano 1/1 MED AISL del anexo II. "Posición de puntos de micrófono y fuente en medición de aislamiento de paneles". También se adjuntan en este anexo las hojas de control de datos de los ensayos realizados en laboratorio.

Los datos correspondientes a las distintas mediciones efectuadas, así como los cálculos del índice de reducción acústica según UNE 10140 y su incertidumbre se presentan en el capítulo 8 apartado 1 de este proyecto.



# **7**

## **Medición de la atenuación de un silenciador**

## **7.1. Bases teóricas sobre la atenuación de silenciadores.**

### **7.1.1. Introducción.**

Un silenciador puede describirse como cualquier sección de un tubo o conducto al que, permitiendo el flujo libre de un fluido, se le ha tratado o dado forma con el objetivo de reducir la transmisión de sonido, es un filtro acústico y su comportamiento varía en función de la frecuencia.

En su diseño y selección, los silenciadores deben cumplir una serie de condiciones para satisfacer las necesidades de la instalación. Debe darse un equilibrio entre los parámetros que lo definen. Debe cumplir con una cantidad mínima de atenuación sonora, tener en cuenta la máxima caída de presión que permite la instalación y por ende el silenciador, el hueco existente para su inserción en la instalación, la durabilidad y el bajo mantenimiento y por supuesto el mínimo coste. Cumpliendo lo mejor posible cada una de las características descritas se obtendrá un diseño u elección óptima.

### **7.1.2. Tipos de silenciadores.**

Existe una clasificación de los tipos de silenciadores en función del uso o no de material absorbente.

- **Reactivos:** Se compone de tubos acoplados, sin material absorbente. Atenúan el sonido por reflexión, parte de la energía incidente es devuelta a la fuente.
- **Pasivos o disipativos:** Trabajan disipando la energía acústica. Sus paredes están cubiertas con material absorbente. En este caso la

potencia sonora se convierte en calor, y el material ofrece resistencia al flujo. Estos son los elegidos para realizar el ensayo del proyecto.

- Pasivos-Reactivos: En los cuales ambos principios están involucrados.

### **7.1.3. Silenciadores pasivos.**

Se define como el dispositivo que, permitiendo el paso del aire, actúa convirtiendo parte de la energía acústica en energía térmica por medio de materiales absorbentes, produciendo de esta manera una atenuación del nivel sonoro.

Pueden ser rectangulares o circulares.

Independientemente de la forma están compuestos por los elementos que se listan a continuación y que se mostraban en la figura 13 presentada en el capítulo 5:

- Envolvente: Carcasa de chapa de acero que sirve de elemento de unión de todos los baffles, conforma un conjunto.
- Baffles: Son bastidores de chapa que contienen el elemento absorbente, lana mineral de densidad específica y un velo protector que evite el desprendimiento de partícula en la medida de lo posible. El espesor de los baffles puede variar. Generalmente los baffles laterales suelen tener la mitad de espesor.
- Paso de aire: Es la separación que existe entre los baffles que conforman el conjunto, también puede variar en función de la pérdida de carga y la atenuación que se pretenda.
- Brida: Perfil metálico para la conexión del silenciador a los conductos de entrada y salida del aire.

### 7.1.4. Parámetros característicos de un silenciador.

- **Atenuación del Silenciador  $\Delta L_t$**  La atenuación del silenciador  $\Delta L_t$  es proporcional a su longitud y al perímetro del paso de aire forrado, P, e inversamente proporcional a la superficie transversal del paso de aire, S.

La pérdida por inserción de un silenciador viene dada por la ecuación 23 [7]:

$$IL = 10 \log \left( \frac{W_0}{W_M} \right) \quad (23)$$

$W_0$  y  $W_M$  son la potencia sonora en el conducto sin y con silenciador respectivamente, siempre que la radiación estructural a través de la carcasa y por los flancos sea baja, la potencia sonora en el conducto se obtiene a partir de la expresión 24:

$$W_M = W_0 \times 10^{-(\Delta L_t + \Delta L_{ENT} + \Delta L_{EX})/10} + W_{SG} \quad [\text{Nm/s}] \quad (24)$$

Dónde:  $\Delta L_t$  representa la atenuación del silenciador de longitud l.

$\Delta L_{ENT}$  representa la pérdida de entrada

$\Delta L_{EX}$  representa la pérdida de salida

$W_{SG}$  es la potencia sonora generada por el flujo de salida del silenciador.

Por lo tanto tendremos la ecuación 25:

$$IL = 10 \log \frac{W_0}{W_M} + 10^{-(\Delta L_t + \Delta L_{ENT} + \Delta L_{EX})/10} \quad [\text{dB}] \quad (25)$$

Cuando la velocidad de flujo en el paso de aire es muy baja, el ruido generado por este es insignificante y la ecuación se simplifica quedando lo expresado en la ecuación 26.

$$IL \cong \Delta L_l + \Delta L_{ENT} + \Delta L_{EX} \quad [\text{dB}] \quad (26)$$

Las pérdidas de entrada  $\Delta L_{ENT}$  son pequeñas si la energía de onda plana incide normalmente en la entrada del silenciador. Esto sucede en conductos rectos a bajas frecuencias.

La mayoría de las pérdidas de salida se generan cuando el silenciador está situado en el extremo abierto de un conducto, lo que es llamado efecto sala.

La atenuación de un silenciador de longitud  $l$  puede expresarse según ecuación 27:

$$\Delta L_l = \left(\frac{P}{S}\right) l L_h \quad [\text{dB}] \quad (27)$$

Dónde:  $P$  es el perímetro de forro del paso de aire

$S$  es la sección del paso de aire

$l$  es la longitud

$L_h$  es la atenuación normalizada

$$L_h = 8.68h \operatorname{Re} \{\Gamma_c\} \quad [\text{dB/m}] \quad (28)$$

Dónde:  $h$  es la  $\frac{1}{2}$  del ancho del paso de aire

$\Gamma_c$  la constante de propagación

$R$  es la resistencia de flujo

$$R = R_1 d / \rho c \quad [\text{dB}] \quad (29)$$

Dónde:  $d$  es la  $\frac{1}{2}$  del espesor de un baffle

$R_1$  es la resistencia de flujo del material fonoabsorbente

Empíricamente se puede obtener la atenuación mediante distintas normas:

- UNE EN ISO 7235 Procedimiento de medición en laboratorio para silenciadores en conducto y unidades terminales de aire.

- UNE EN ISO 11691 Medición de la pérdida por inserción en conductos sin flujo.
  - UNE EN ISO 11820 Medición “in situ” de silenciadores.
  - Las directrices para el control de ruido por medio de silenciadores está contemplada en la UNE EN ISO 14163.
- **Pérdida de carga.** Es la pérdida de presión en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre si y contra las paredes del elemento por el que circula, en este caso del silenciador.

La caída de presión que se produce en un silenciador está compuesta por las pérdidas de fricción a lo largo del silenciador entre celdillas, y las pérdidas de entrada y de salida (ecuaciones 30 y 31).

$$\Delta p_T = \Delta p_{ENT} + \Delta p_{EX} + \Delta p_F \quad (\text{N/m}^2) \quad (30)$$

$$\Delta p_T = 1/2 \rho v_p^2 \left[ K_{ENT} + K_{EX} + \left( \frac{P}{A} \right) l K_F \right] \quad (\text{N/m}^2) \quad (31)$$

Dónde:  $\rho$  es la densidad del gas

$v_p$  la velocidad de paso

$K_{ENT}$  y  $K_{EX}$  son coeficientes de pérdidas de carga en la entrada y salida, que dependen de la geometría del bafle y de la configuración del paso de aire.

**TABLE 9.3 Pressure Loss Coefficient for Parallel Baffle Silencers**



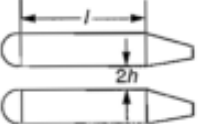


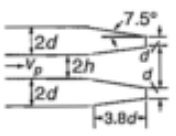
Geometry	Loss Coefficient
Square-edge nose 	$K_{ENT} = \frac{0.5}{1 + h/d}$
Rounded nose 	$K_{ENT} \approx \frac{0.05}{1 + h/d}$
Typical perforated metal facing 	$K_F \approx 0.0125$ $\ell = \text{baffle length, tail and nose not included}$
Square tail 	$K_{EX} = \left( \frac{1}{1 + h/d} \right)^2$
Rounded tail 	$K_{EX} = 0.7 \left( \frac{1}{1 + h/d} \right)^2$
Faired tail, 7.5° 	$K_{EX} = 0.6 \left( \frac{1}{1 + h/d} \right)^2$

Figura 40. Coeficientes de pérdida de carga para silenciadores de baffles paralelos.

- Velocidad de paso de aire.**

Se calcula a partir de la ecuación 32

$$v_p = (Q/n * 2h * H * 3600) \quad [\text{m/s}] \quad (32)$$

Dónde: Q es el caudal [ m³/h ].

n es el número de pasos de aire.

2h es espesor del paso de aire [m]

H es la altura del silenciador [m]

- **Ruido Regenerado.** Es el ruido que produce el propio silenciador al encontrarse en el circuito que recorre un fluido, al chocar el fluido con los distintos elementos que conforman el silenciador, el frontal del bafle y las paredes del mismo. Se define como ruido aerodinámico.

No existe un método universalmente aceptado para la obtención del ruido regenerado. La ISO 14163 presenta un esquema empírico predictivo, basado en una amplia gama de datos experimentales.

En silenciadores rectangulares se puede obtener aproximadamente mediante la expresión 33:

$$L_{WA} = (-23 + 67 \log(v/v_0)) \quad [\text{dB}] \quad (33)$$



## **7.2. Ensayo de obtención de la atenuación de silenciadores pasivos mediante la UNE EN ISO 11820.**

### **7.2.1. Características de las instalaciones de ensayo.**

La instalación del lado de la fuente es considerada como un conducto y del lado del receptor es un recinto con campo acústico difuso. Se ha podido realizar la medición en la cámara al cumplir que la relación entre ancho y alto del recinto es inferior a 3:1 y a que la absorción es relativamente baja y uniformemente repartida.

El recinto receptor tiene una superficie de 201,23 m<sup>2</sup>, consta de dos recintos reverberantes adyacentes con una abertura entre ellos. Ambos recintos poseen elementos de difusión para evitar la presencia de ondas estacionarias.

Para el recinto emisor se ha pensado en simular una situación común de instalación de una fuente, para ello se ha diseñado una caja para alojarla y una transición que la conecte con los silenciadores a ensayar. Tanto la caja como la transición están fabricadas con material aislante.

La transición tiene la misma longitud que los silenciadores.

Todo el sistema, como ya se ha expuesto y definido en el capítulo 5 es un mecano realizado a partir de chapa galvanizada y lana mineral y la unión de las distintas piezas se realiza mediante tuercas remachada y tornillos.

### **7.2.2. Procedimiento de ensayo.**

Se emplean los dos recintos adyacentes horizontales que componen el laboratorio de acústica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación como recinto receptor para la realización de la medición de la atenuación de distintos silenciadores.

Se procede al montaje del sistema. Se sitúa el bastidor donde se instalarán los distintos silenciadores y que hará de elemento resistente, en el hueco que proporcionan las jambas de la puerta sencilla de la cámara.

Las dos estructuras se enfrentan por su cara perforada, dejando la cara de chapa lisa y reflectante del lado de la cámara, quedando entre ellas, debido a su fabricación, una pequeña cámara de aire. El bastidor B se fija mediante tacos a la pared. Se ilustra su posición final en la imagen de la figura 41.

En la imagen 42 se muestra el detalle del hueco de inserción de los silenciadores y se aprecia el encuentro del bastidor A y del bastidor B con el perfil en “U” separador.

En la abertura del bastidor se introduce el silenciador a ensayar. El hueco se cierra mediante unos paneles que ajustan contra el silenciador. En función del silenciador seleccionado se pone uno u otro panel. Estos paneles se fijan al bastidor con placas, tuercas remachables y tornillos.



Figura 41. Bastidor situado en el hueco de la puerta, vista desde interior de la cámara.

Del lado exterior de la cámara, del lado de la fuente, el silenciador va preparado con una brida para atestar a tope contra la brida prevista en la transición. La brida del silenciador está dotada de tuercas remachables que coinciden con los taladros que se le han realizado a la brida de la transición de forma que permite un fácil y sencillo ensamble mediante tornillos.



Figura 42. Imagen del doble bastidor.

La cara de la transición del lado de la fuente también lleva incorporada una brida con tuercas remachables y se acopla mediante el mismo procedimiento descrito con anterioridad con la caja de alojamiento de la fuente.

Se realiza el montaje de la transición y de la caja de alojamiento de la fuente sobre una bancada móvil como se muestra en la figura 43 que facilita su movimiento para el cambio del elemento que se esté ensayando y se acoplan al silenciador insertado en el hueco.

Una vez ensamblados los elementos, se coloca el panel de cierre correspondiente al silenciador insertado, fijándolo con las placas previstas en los bastidores y se remata la instalación con unos angulares que se colocarán en las juntas del silenciador por el lado de la cámara que evitarán la existencia de aberturas y cubrirán de esta manera las holguras necesarias de fabricación para posibilitar el montaje del sistema.



Figura 43. Imagen del montaje de la transición y la caja de alojamiento de la fuente sobre la bancada móvil.

El plano de montaje general del sistema de ensayo corresponde al 5/5 AT “Montaje sistema ensayo silenciadores” y cada montaje particular de silenciador viene definido en los planos 2/5 AT; 3/5 AT; 4/5 AT del anexo I, “Montaje silenciador 100-200”; “Montaje silenciador 150-200” y “Montaje silenciador 200-200” respectivamente.

Posteriormente se procede a incorporar la fuente en la caja de alojamiento de la fuente por la parte posterior de esta (figura 44) y se cierra el panel trasero según se indica en la imagen de la figura 45 atornillándolo para su fijación.



Figura 44. Montaje del panel cierre de la caja de alojamiento de la fuente.

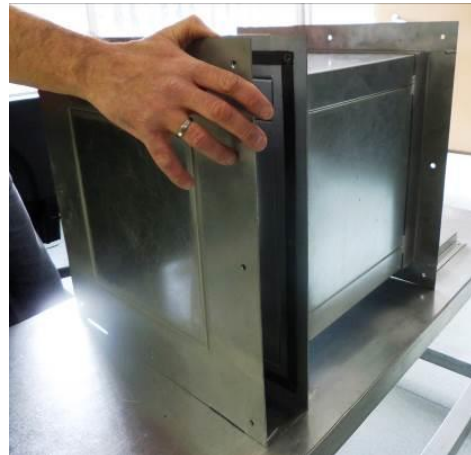
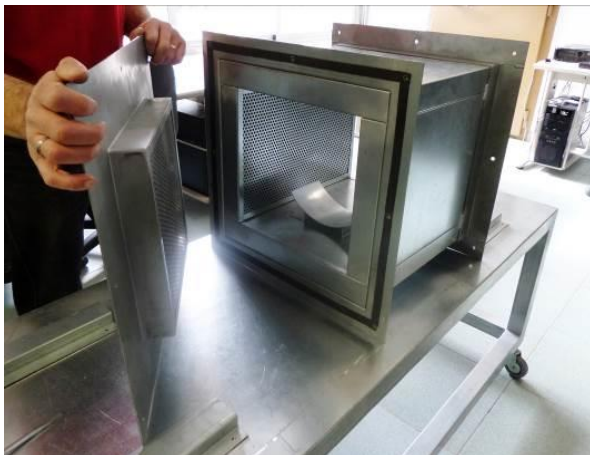


Figura 45. Montaje del panel cierre de la caja de alojamiento de la fuente.

El conjunto totalmente ensamblado y preparado para el ensayo visto desde fuera de la cámara se muestra en la figura 46





Figura 46. Ensamble del conjunto de la caja de alojamiento y la transición al silenciador insertado en el bastidor de ensayo.

### **7.2.3. Procedimiento de medición.**

Se quiere obtener la atenuación de los silenciadores mediante la norma UNE-EN ISO 11820.

Esta norma ofrece un método para evaluar el rendimiento acústico de los silenciadores en condiciones de funcionamiento, “in situ”.

Las pérdidas de atenuación determinadas, expresan en qué medida se reduce el nivel de potencia acústica al pasar por un conducto o al atravesar una sección transversal de un silenciador.

Esta norma se aplica específicamente a las mediciones “in situ” de silenciadores y en concreto

- A los silenciadores instalados como un todo, o en forma de apantallamiento acústicos individuales en el trayecto de la propagación del sonido.
- A todos los tipos de silenciadores pasivos.

Se efectúan mediciones de los niveles de presión acústica en bandas de tercio de octava entre 50 Hz y 5 KHz.

También se miden la humedad y la temperatura antes y después de cada medición.

Se determinan seis emplazamientos, de micrófono, uniformemente distribuidos en todo el recinto. En la definición de la posición de los puntos de medición se ha tenido en cuenta la separación mínima que fija la norma tanto a las paredes, como al silenciador. Se han plasmado estas posiciones en el plano 1/1 MED AT “Posición de puntos de micrófono y fuente en medición atenuación silenciadores”. Incluido en el anexo II.

Se mide ruido de fondo en las mismas posiciones para corregir el nivel de presión acústica si fuese necesario.

La norma contempla dos métodos de obtención de la atenuación, pérdidas por inserción y pérdidas por transmisión.



Dado que la manera más eficaz de conseguir la atenuación es realizando la diferencia de nivel obtenida en un mismo punto con dos condiciones distintas, nos centramos en las pérdidas por inserción, además dadas las condiciones de nuestro laboratorio se obtienen resultados más precisos realizando las mediciones mediante este tipo de pérdidas:

### **Pérdidas por Inserción.**

Se procede a medir el nivel de presión sonora de recepción en los distintos puntos de la cámara reverberante, se mide también el ruido de fondo en la sala para corregir los niveles recibidos si fuese necesario y se mide también el tiempo de reverberación para así calcular el área de absorción equivalente del recinto.

Cada vez que se realiza la medición de un silenciador se sustituye este por un conducto de chapa, y se repiten las medidas de los niveles de presión, ruido de fondo y tiempo de reverberación en los distintos puntos de la sala reverberante.

Este proceso se repite con los tres silenciadores.

La pérdida por inserción,  $D_{is}$  se calcula a partir de la diferencia de nivel de presión acústica medida,  $\overline{L_{pII}} - \overline{L_{pI}}$ , de la relación  $S_{II}/S_I$  y de la de la diferencia de las correcciones de campo en la extremidad de salida del silenciador,  $K_{II} - K_I$ , medidas en la sala reverberante sin y con silenciador según la ecuación 34 [1].

$$D_{is} = \overline{L_{pII}} - \overline{L_{pI}} + 10 \log(S_{II}/S_I) + K_{II} - K_I \quad [\text{dB}] \quad (34)$$

Dónde:

$L_{pII}$  es el nivel medio de presión acústica medida con conducto de sustitución, sin silenciador.

$L_{pI}$  es el nivel medio de presión acústica medida con silenciador.

$S_{II}$  es  $\frac{1}{4}$  del área de absorción del recinto reverberante con conducto.

$S_I$  es  $\frac{1}{4}$  del área de absorción del recinto reverberante con silenciador.

Las correcciones de campo  $K_I$  y  $K_{II}$  tienen en cuenta temperaturas muy diferentes. Las distintas temperaturas determinan velocidades de sonido diferentes. En las mediciones realizadas se puede comprobar que la diferencia de temperatura apenas es apreciable, por lo que se tomaran como 0 ambos valores de  $K$ .

La diferencia de nivel de presión acústica se obtiene a partir de los niveles medios medidos con y sin silenciador en los distintos puntos. Estos niveles medios se obtienen respectivamente de las expresiones 35 y 36:

$$\overline{L_{pII}} = 10 \log \left( \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N 10^{0,1L_{pj}} - 10^{0,1L_{\epsilon j}} \right) [dB] \quad (35)$$

$$\overline{L_{pI}} = 10 \log \left( \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N 10^{0,1L_{pj}} - 10^{0,1L_{\epsilon j}} \right) [dB] \quad (36)$$

Donde

$L_{pII}$  es el nivel medio de presión acústica (ref. 20  $\mu$ Pa), en decibelios (en bandas de tercio de octava) sin el silenciador instalado, promediado en todos los puntos de medición del ruido aéreo propagado desde la abertura y que depende de las condiciones de instalación.

$L_{pI}$  es el nivel medio de presión acústica (ref. 20  $\mu$ Pa), en decibelios (en bandas de tercio de octava) con el silenciador instalado, promediado en todos los puntos de medición del ruido aéreo propagado desde la abertura y que depende de las condiciones de instalación.

$L_{pj}$  es el nivel de presión acústica recibido en cada uno de los puntos de medición debido a la suma de la señal y el ruido de fondo.

$L_{\epsilon j}$  es el nivel de presión acústica recibido en cada uno de los puntos de medición debido al ruido de fondo.

Tanto en la expresión 37 como 38 queda contemplada la adecuada corrección por ruido de fondo.

En las figuras 47, 48 y 49 se muestran imágenes representativas de las mediciones realizadas donde se puede observar el conducto de sustitución y un silenciador insertado en el sistema visto desde la cámara.



Figura 47. Imagen de conducto de sustitución y de silenciador respectivamente instalados en el sistema de ensayo.



Figura 48. Imagen de medición de nivel de ruido con silenciador instalado en bastidor.



Figura 49. Imagen de posición de micrófono en cámara con silenciador instalado en bastidor.

# **8 Resultados de ensayos y de cálculos.**

## **8.1. Medición del aislamiento a ruido aéreo.**

Se exponen los valores de cada una de las magnitudes medidas en el ensayo de aislamiento a ruido aéreo en cada una de las distintas posiciones de fuente.

Las posiciones de fuente y de micrófono son las reflejadas en el plano 1/1 MED AISL del Anexo II

La exposición de los datos que se realiza comprenderá para cada una de las posiciones de fuente, los valores de los niveles medidos en la cámara emisora, los valores de los niveles medidos en la cámara receptora, los niveles del ruido de fondo y el tiempo de reverberación.

### 8.1.1. Tablas de datos de las medidas.

#### 8.1.1.1 Niveles medidos con la fuente en la posición 1 ( $F_1$ )

Los valores de los niveles medidos en la cámara emisora se presentan en la tabla I.

Ruido emitido $F_1$							
Posición	Pos 01	Pos 02	Pos 03	Pos 04	Pos 05	Pos 06	$L_{11}$ Medio
Hz	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
50	67,3	66,2	66,9	66,0	67,8	67,1	66,9
63	69,9	70,7	73,7	72,7	71,0	70,9	71,7
80	74,3	75,7	81,0	80,8	77,9	79,8	78,9
100	88,4	87,0	86,9	87,9	90,4	90,1	88,7
125	87,7	87,0	92,8	94,0	93,6	93,6	92,3
160	93,2	93,7	93,2	93,1	93,3	93,5	93,3
200	94,8	95,7	94,3	94,2	94,6	94,1	94,7
250	93,4	93,5	93,6	93,5	93,7	93,4	93,5
315	92,3	91,7	94,1	93,7	96,3	95,3	94,2
400	93,3	93,6	90,9	91,8	94,6	93,8	93,2
500	93,2	93,3	92,9	92,7	92,6	93,5	93,0
630	93,3	92,8	92,7	93,6	94,2	93,8	93,4
800	92,7	91,9	93,0	92,7	94,5	95,5	93,6
1000	90,3	90,6	91,3	89,5	93,7	93,5	91,8
1250	92,6	92,9	92,9	92,9	92,8	94,7	93,2
1600	95,6	94,7	95,1	94,8	96,3	96,7	95,6
2000	95,4	94,4	95,2	94,5	96,4	96,2	95,4
2500	95,6	94,9	95,3	95,5	96,1	96,3	95,6
3150	93,9	93,8	94,7	95,3	96,0	96,2	95,1
4000	92,4	92,5	94,1	93,4	93,9	94,1	93,5
5000	91,9	92,0	93,1	92,9	93,6	94,6	93,1

Tabla. I. Niveles de presión sonora registrados en cada una de las posiciones de micrófono en el recinto emisor con la fuente en la posición 1.

Siendo  $L_{11}$  Medio el nivel sonoro medio del nivel medido en la cámara emisora con la fuente emitiendo en la posición 1.

En la tabla II se presentan los niveles medidos en la cámara receptora

Ruido recibido $F_1$							
Posición	Pos 01	Pos 02	Pos 03	Pos 04	Pos 05	Pos 06	$L_{21}$ Medio
Hz	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
<b>50</b>	52,4	52,6	52,1	55,0	59,0	58,4	<b>55,9</b>
<b>63</b>	63,0	62,3	65,8	63,6	55,1	55,1	<b>62,4</b>
<b>80</b>	59,9	59,4	56,7	55,1	55,0	55,7	<b>57,4</b>
<b>100</b>	71,7	72,8	71,3	71,1	75,0	73,7	<b>72,8</b>
<b>125</b>	76,2	77,1	76,5	76,2	74,7	75,3	<b>76,1</b>
<b>160</b>	77,8	77,1	78,7	78,1	79,1	79,3	<b>78,4</b>
<b>200</b>	78,2	78,4	79,5	79,8	77,9	77,4	<b>78,6</b>
<b>250</b>	72,3	72,5	72,7	73,3	72,2	72,3	<b>72,6</b>
<b>315</b>	69,5	69,9	68,9	69,0	69,3	68,7	<b>69,2</b>
<b>400</b>	65,0	64,9	63,7	64,6	64,8	65,5	<b>64,8</b>
<b>500</b>	60,1	61,3	61,9	61,7	61,8	62,0	<b>61,5</b>
<b>630</b>	58,2	58,5	60,1	60,2	59,8	59,5	<b>59,4</b>
<b>800</b>	57,1	56,8	56,6	57,1	57,7	57,2	<b>57,1</b>
<b>1000</b>	52,3	52,0	52,1	52,4	52,5	53,5	<b>52,5</b>
<b>1250</b>	51,8	50,8	51,1	51,0	51,4	51,2	<b>51,2</b>
<b>1600</b>	53,1	52,2	52,5	52,7	52,5	52,6	<b>52,6</b>
<b>2000</b>	52,5	52,1	51,8	52,6	52,0	51,7	<b>52,1</b>
<b>2500</b>	54,4	54,4	55,7	55,7	54,9	54,8	<b>55,0</b>
<b>3150</b>	54,4	54,7	54,8	54,6	54,3	54,3	<b>54,5</b>
<b>4000</b>	52,5	51,9	52,6	52,7	51,8	52,2	<b>52,3</b>
<b>5000</b>	54,0	54,2	54,9	55,4	54,5	54,6	<b>54,6</b>

Tabla. II. Niveles de presión sonora registrados en cada una de las posiciones de micrófono en el recinto receptor con la fuente en la posición 1.

Siendo  $L_{21}$  Medio el nivel sonoro medio recibido con la fuente emitiendo en la posición 1.



La tabla III muestra los tiempos de reverberación obtenidos en el recinto receptor.

Tiempo de Reverberación $F_1$							
Posición	Pos 01	Pos 02	Pos 03	Pos 04	Pos 05	Pos 06	$T_{R1}$ Medio
Hz	s	s	s	s	s	s	s
<b>50</b>	2,51	2,41	1,18	1,18	2,47	2,54	<b>2,05</b>
<b>63</b>	2,37	2,28	2,23	2,22	1,37	2,59	<b>2,18</b>
<b>80</b>	2,83	2,78	2,92	2,95	2,83	2,80	<b>2,85</b>
<b>100</b>	2,49	2,52	2,27	2,34	2,02	2,08	<b>2,29</b>
<b>125</b>	2,53	2,56	2,63	2,60	2,66	2,73	<b>2,62</b>
<b>160</b>	2,50	2,59	2,87	2,92	2,59	2,72	<b>2,70</b>
<b>200</b>	2,68	2,68	2,61	2,41	2,53	2,54	<b>2,58</b>
<b>250</b>	2,29	2,26	2,39	2,37	2,38	2,36	<b>2,34</b>
<b>315</b>	2,20	2,52	2,13	2,29	2,26	1,96	<b>2,23</b>
<b>400</b>	2,27	2,00	2,25	2,20	2,18	2,15	<b>2,18</b>
<b>500</b>	2,00	2,13	2,12	2,00	2,05	1,96	<b>2,04</b>
<b>630</b>	2,12	2,14	2,11	2,07	2,47	2,23	<b>2,19</b>
<b>800</b>	2,29	2,15	2,27	2,11	2,31	2,35	<b>2,25</b>
<b>1000</b>	2,20	2,27	2,48	2,32	2,44	2,48	<b>2,37</b>
<b>1250</b>	2,39	2,33	2,27	2,19	2,34	2,28	<b>2,30</b>
<b>1600</b>	2,35	2,27	2,34	2,32	2,32	2,38	<b>2,33</b>
<b>2000</b>	2,24	2,22	2,19	2,27	2,37	2,39	<b>2,28</b>
<b>2500</b>	2,21	2,20	2,18	2,19	2,16	2,21	<b>2,19</b>
<b>3150</b>	2,01	2,03	2,08	1,99	2,02	2,06	<b>2,03</b>
<b>4000</b>	1,80	1,78	1,80	1,80	1,78	1,81	<b>1,80</b>
<b>5000</b>	1,54	1,54	1,56	1,51	1,52	1,54	<b>1,54</b>

Tabla. III. Tiempos de reverberación registrados en cada una de las posiciones de micrófono en el recinto receptor correspondientes a la medida de la fuente en la posición 1.

Siendo  $T_{R1}$  Medio el tiempo de reverberación medio medido con la fuente emitiendo en la posición 1.

La tabla IV muestra los niveles de ruido de fondo.

<b>Ruido de Fondo <math>F_1</math></b>			
<b>Posición</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b><math>L_{RF1}</math> Medio</b>
<b>Hz</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
<b>50</b>	13,4	15,8	<b>14,8</b>
<b>63</b>	28,0	28,3	<b>28,2</b>
<b>80</b>	30,1	32,5	<b>31,5</b>
<b>100</b>	18,6	20,5	<b>19,7</b>
<b>125</b>	13,8	14,3	<b>14,1</b>
<b>160</b>	11,4	11,4	<b>11,4</b>
<b>200</b>	8,3	13,0	<b>11,3</b>
<b>250</b>	3,5	10,4	<b>8,2</b>
<b>315</b>	3,5	8,5	<b>6,7</b>
<b>400</b>	2,7	6,6	<b>5,1</b>
<b>500</b>	2,5	5,4	<b>4,2</b>
<b>630</b>	2,4	5,0	<b>3,9</b>
<b>800</b>	3,9	3,2	<b>3,6</b>
<b>1000</b>	4,4	6,2	<b>5,4</b>
<b>1250</b>	4,8	5,3	<b>5,1</b>
<b>1600</b>	3,5	3,9	<b>3,7</b>
<b>2000</b>	5,4	6,1	<b>5,8</b>
<b>2500</b>	8,6	8,2	<b>8,4</b>
<b>3150</b>	5,6	5,8	<b>5,7</b>
<b>4000</b>	5,7	5,6	<b>5,7</b>
<b>5000</b>	6,1	6,2	<b>6,2</b>

Tabla. IV. Niveles de ruido de fondo registrados en distintas posiciones de micrófono en el recinto receptor correspondientes a la medida de la fuente en la posición 1.

Siendo  $L_{RF1}$  Medio el nivel de ruido de fondo medio medido en sala receptora correspondiente a la medida con la fuente en la posición 1.

### 8.1.1.2 Niveles medidos con la fuente en la posición 2 ( $F_2$ )

Los valores de los niveles medidos en la cámara emisora se presentan en la tabla V.

Ruido emitido $F_2$							
Posición	Pos 01	Pos 02	Pos 03	Pos 04	Pos 05	Pos 06	$L_{12}$ Medio
Hz	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
50	66,6	66,8	66,1	66,3	67,6	67,1	66,8
63	70,2	69,0	73,5	72,5	71,5	71,4	71,6
80	75,5	75,9	80,6	80,5	78,1	78,9	78,7
100	88,2	88,7	87,2	87,9	90,3	90,8	89,0
125	87,0	87,1	94,2	95,0	94,4	94,7	93,2
160	93,3	93,8	94,3	94,4	93,2	93,4	93,8
200	94,2	94,8	94,3	93,4	94,2	94,4	94,2
250	93,5	93,4	93,1	92,9	92,7	92,8	93,1
315	93,2	93,0	93,6	93,0	96,0	94,4	94,0
400	91,5	92,3	91,8	91,5	95,5	95,8	93,5
500	92,0	92,2	92,8	91,8	93,3	94,2	92,8
630	93,1	92,6	92,8	92,4	92,9	92,8	92,8
800	92,3	92,8	93,2	93,2	95,3	94,9	93,8
1000	92,4	91,8	92,5	92,7	94,1	93,4	92,9
1250	92,4	92,1	92,9	92,3	94,4	94,5	93,2
1600	94,8	95,1	94,8	95,1	97,5	96,2	95,7
2000	95,1	94,9	94,1	95,7	96,8	97,1	95,7
2500	95,2	94,9	96,0	95,1	96,9	96,9	95,9
3150	94,1	94,6	94,5	94,7	96,8	97,0	95,4
4000	92,3	92,3	92,6	92,3	94,9	94,6	93,3
5000	91,8	91,6	92,4	92,8	94,7	95,1	93,3

Tabla. V. Niveles de presión sonora registrados en cada una de las posiciones de micrófono en el recinto emisor con la fuente en la posición 2.

Siendo  $L_{12}$  Medio el nivel sonoro medio en la sala emisora con la fuente emitiendo en la posición 2.

La tabla VI muestra los niveles medidos en la sala receptora en las distintas posiciones de micrófono.

Ruido recibido F <sub>2</sub>							
Posición	Pos 01	Pos 02	Pos 03	Pos 04	Pos 05	Pos 06	L <sub>22</sub> Medio
Hz	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
<b>50</b>	51,1	52,1	51,0	51,7	56,7	58,0	<b>54,4</b>
<b>63</b>	62,2	61,0	64,0	62,8	54,3	53,2	<b>61,1</b>
<b>80</b>	59,6	59,7	56,1	55,4	54,5	55,0	<b>57,3</b>
<b>100</b>	72,7	72,7	70,8	71,4	74,1	73,8	<b>72,7</b>
<b>125</b>	76,2	77,7	77,3	77,3	74,7	75,7	<b>76,6</b>
<b>160</b>	78,0	77,7	79,4	78,7	79,6	80,1	<b>79,0</b>
<b>200</b>	78,4	77,5	79,6	79,7	77,6	77,8	<b>78,5</b>
<b>250</b>	72,2	72,0	72,4	72,3	72,0	72,2	<b>72,2</b>
<b>315</b>	69,6	68,8	69,8	69,6	69,6	69,2	<b>69,4</b>
<b>400</b>	64,8	65,1	65,1	66,1	66,2	65,6	<b>65,5</b>
<b>500</b>	61,6	61,8	62,3	61,6	60,9	61,6	<b>61,7</b>
<b>630</b>	59,2	58,5	59,8	59,5	58,8	59,3	<b>59,2</b>
<b>800</b>	57,0	56,8	57,5	56,8	56,5	56,7	<b>56,9</b>
<b>1000</b>	53,1	53,9	52,8	52,9	53,3	52,7	<b>53,1</b>
<b>1250</b>	50,7	51,4	51,6	51,4	52,2	51,5	<b>51,5</b>
<b>1600</b>	51,9	52,4	52,3	52,7	51,9	52,4	<b>52,3</b>
<b>2000</b>	52,1	51,5	52,8	52,3	52,1	51,4	<b>52,1</b>
<b>2500</b>	54,7	54,5	56,5	56,1	54,3	54,3	<b>55,2</b>
<b>3150</b>	54,7	54,5	54,9	55,0	54,5	54,8	<b>54,7</b>
<b>4000</b>	52,0	52,1	52,6	52,7	51,9	51,9	<b>52,2</b>
<b>5000</b>	53,6	54,3	54,8	55,0	54,0	54,4	<b>54,4</b>

Tabla. VI. Niveles de presión sonora registrados en cada una de las posiciones de micrófono en el recinto receptor con la fuente en la posición

2.

Siendo L<sub>22</sub> Medio el nivel sonoro medio medido en la sala receptora con la fuente emitiendo en la posición 2.

Los tiempos de reverberación registrados en la sala receptora correspondientes a la medición de la fuente en posición 2 son los que se listan en la tabla VII.

Tiempo de Reverberación $F_2$							
Posición	Pos 01	Pos 02	Pos 03	Pos 04	Pos 05	Pos 06	$T_{R2}$ Medio
Hz	s	s	s	s	s	s	s
<b>50</b>	2,53	2,60	1,39	2,25	2,59	2,68	<b>2,34</b>
<b>63</b>	2,75	2,66	2,37	2,52	3,16	3,28	<b>2,79</b>
<b>80</b>	2,80	2,77	2,97	2,90	2,80	2,89	<b>2,86</b>
<b>100</b>	2,54	2,49	2,30	2,30	1,91	2,08	<b>2,27</b>
<b>125</b>	2,33	2,51	2,54	2,60	2,77	2,81	<b>2,59</b>
<b>160</b>	2,62	2,64	2,88	2,92	2,57	2,66	<b>2,72</b>
<b>200</b>	2,68	2,66	2,75	2,60	2,48	2,58	<b>2,63</b>
<b>250</b>	2,34	2,30	2,08	2,18	2,50	2,57	<b>2,33</b>
<b>315</b>	2,26	2,44	2,39	2,49	2,30	2,42	<b>2,38</b>
<b>400</b>	2,04	2,11	2,10	2,09	2,41	2,41	<b>2,19</b>
<b>500</b>	2,03	2,18	2,28	2,18	2,18	2,31	<b>2,19</b>
<b>630</b>	2,01	2,08	2,14	2,16	2,05	2,11	<b>2,09</b>
<b>800</b>	2,14	2,44	2,16	2,23	2,19	2,31	<b>2,25</b>
<b>1000</b>	2,34	2,33	2,31	2,36	2,20	2,44	<b>2,33</b>
<b>1250</b>	2,29	2,32	2,37	2,31	2,35	2,28	<b>2,32</b>
<b>1600</b>	2,31	2,32	2,33	2,30	2,31	2,40	<b>2,33</b>
<b>2000</b>	2,16	2,39	2,18	2,41	2,29	2,30	<b>2,29</b>
<b>2500</b>	2,19	2,25	2,17	2,21	2,26	2,24	<b>2,22</b>
<b>3150</b>	2,06	2,04	2,03	2,04	2,06	2,04	<b>2,05</b>
<b>4000</b>	1,77	1,77	1,81	1,77	1,77	1,82	<b>1,79</b>
<b>5000</b>	1,48	1,51	1,55	1,59	1,55	1,52	<b>1,53</b>

Tabla. VII. Tiempos de reverberación registrados en cada una de las posiciones de micrófono en el recinto receptor con la fuente en la posición 2.

Siendo  $T_{R2}$  Medio el tiempo de reverberación medio obtenido en la cámara receptora correspondiente con la medida realizada para posición 2 de fuente.

La tabla VIII presenta los niveles del ruido de fondo en la cámara receptora correspondiente a la medida de la fuente en posición 2.

<b>Ruido de Fondo <math>F_2</math></b>			
<b>Posición</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b><math>L_{RF2}</math> Medio</b>
<b>Hz</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
<b>50</b>	31,7	33,4	<b>32,6</b>
<b>63</b>	27,4	17,5	<b>24,8</b>
<b>80</b>	38,5	27,1	<b>35,8</b>
<b>100</b>	27,0	20,2	<b>24,8</b>
<b>125</b>	26,3	22,5	<b>24,8</b>
<b>160</b>	22,0	17,1	<b>20,2</b>
<b>200</b>	18,5	11,2	<b>16,2</b>
<b>250</b>	14,1	8,8	<b>12,2</b>
<b>315</b>	12,8	6,9	<b>10,8</b>
<b>400</b>	7,6	5,8	<b>6,8</b>
<b>500</b>	6,1	4,8	<b>5,5</b>
<b>630</b>	4,3	3,7	<b>4,0</b>
<b>800</b>	2,9	3,1	<b>3,0</b>
<b>1000</b>	3,3	2,2	<b>2,8</b>
<b>1250</b>	4,9	3,6	<b>4,3</b>
<b>1600</b>	3,6	3,3	<b>3,5</b>
<b>2000</b>	5,3	6,0	<b>5,7</b>
<b>2500</b>	8,1	8,6	<b>8,4</b>
<b>3150</b>	5,8	5,6	<b>5,7</b>
<b>4000</b>	5,5	5,6	<b>5,6</b>
<b>5000</b>	6,0	6,0	<b>6,0</b>

Tabla. VIII. Niveles de ruido de fondo registrados en distintas posiciones de micrófono en el recinto receptor correspondientes a la medida con la fuente en la posición 2.

Siendo  $L_{RF2}$  Medio el nivel de ruido de fondo medio medido en sala receptora correspondiente a la medida con la fuente en la posición 2.

### 8.1.1.3 Niveles medidos con la fuente en la posición 3 (F<sub>3</sub>)

Los valores de los niveles medidos en la cámara emisora se presentan en la tabla IX.

Ruido emitido F <sub>3</sub>							
Posición	Pos 01	Pos 02	Pos 03	Pos 04	Pos 05	Pos 06	L <sub>13</sub> Medio
Hz	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
50	65,6	64,2	75,4	74,4	78,1	78,7	75,4
63	71,9	71,0	74,6	74,9	71,5	72,7	73,0
80	66,7	66,5	72,9	72,3	68,1	67,6	69,8
100	89,1	88,8	89,7	88,7	88,8	88,9	89,0
125	92,3	91,5	89,1	89,5	88,6	89,5	90,3
160	95,0	94,4	92,3	92,9	94,3	94,7	94,0
200	95,1	95,0	97,1	95,7	94,0	94,1	95,3
250	95,1	95,4	94,8	95,3	92,1	92,0	94,3
315	94,5	95,0	95,2	93,8	93,3	92,8	94,2
400	94,9	95,7	93,6	93,8	93,9	93,8	94,4
500	96,0	95,9	93,5	93,2	93,5	93,3	94,4
630	95,1	95,3	94,4	94,0	91,3	92,1	93,9
800	94,7	94,2	92,8	93,1	92,3	93,1	93,4
1000	92,6	92,8	91,9	91,3	91,4	91,6	92,0
1250	93,8	94,9	93,5	93,4	93,2	92,8	93,7
1600	96,7	97,1	96,7	96,7	95,3	94,8	96,3
2000	96,5	96,0	96,4	96,0	95,4	95,2	95,9
2500	97,3	96,8	96,0	96,0	94,8	94,4	96,0
3150	97,0	96,6	95,5	95,4	94,6	94,4	95,7
4000	94,7	94,6	93,5	93,5	91,9	91,8	93,5
5000	95,0	94,7	94,3	93,9	92,1	92,2	93,8

Tabla. IX. Niveles de presión sonora registrados en cada una de las posiciones de micrófono en el recinto emisor con la fuente en la posición 3.

Siendo L<sub>13</sub> Medio el nivel sonoro medio medido en cámara emisora con la fuente emitiendo en la posición 3.

La tabla X presenta los niveles medidos en la sala receptora con la fuente situada en la posición 3.

Ruido recibido $F_3$							
Posición	Pos 01	Pos 02	Pos 03	Pos 04	Pos 05	Pos 06	$L_{23}$ Medio
Hz	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
50	64,6	63,6	46,7	45,8	68,9	70,4	66,0
63	61,9	62,3	66,3	63,3	55,3	54,5	62,3
80	56,6	56,2	56,8	54,7	53,3	52,9	55,3
100	71,3	72,0	73,7	73,8	76,1	77,0	74,5
125	72,7	73,8	78,3	79,2	76,1	77,8	76,9
160	79,8	79,7	80,5	80,2	78,1	78,4	79,5
200	77,3	76,1	78,4	77,9	77,0	75,5	77,1
250	72,7	71,1	71,7	70,8	72,8	72,4	72,0
315	69,6	68,8	69,9	70,2	69,1	69,4	69,5
400	65,2	64,8	64,1	64,7	63,2	63,9	64,4
500	61,1	62,0	61,0	61,3	61,2	61,5	61,4
630	59,4	60,0	59,8	60,2	59,1	58,7	59,6
800	58,6	57,5	59,0	59,8	58,5	59,5	58,9
1000	53,2	53,7	54,0	53,4	53,2	53,0	53,4
1250	51,0	52,4	51,8	52,3	51,8	51,6	51,8
1600	52,8	53,1	53,0	52,8	52,3	52,8	52,8
2000	52,6	52,3	52,6	52,5	51,7	52,0	52,3
2500	55,8	54,8	57,2	57,4	55,8	55,4	56,2
3150	55,4	55,2	55,7	55,7	55,3	55,3	55,4
4000	53,0	52,7	53,0	53,0	52,8	52,5	52,8
5000	55,6	55,6	56,2	56,1	56,0	56,5	56,0

Tabla. X. Niveles de presión sonora registrados en cada una de las posiciones de micrófono en el recinto receptor con la fuente en la posición 3.

Siendo  $L_{23}$  Medio el nivel sonoro medio medido en cámara receptora con la fuente emitiendo en la posición 3.



El tiempo de reverberación medido correspondiente a la medida de la posición 3 de fuente se muestra en la siguiente tabla, la tabla XI.

Tiempo de Reverberación $F_3$							
Posición	Pos 01	Pos 02	Pos 03	Pos 04	Pos 05	Pos 06	$T_{R3}$ Medio
Hz	s	s	s	s	s	s	s
<b>50</b>	2,67	2,70	4,31	1,90	3,27	2,51	<b>2,89</b>
<b>63</b>	2,54	2,58	3,02	2,75	2,83	2,38	<b>2,68</b>
<b>80</b>	2,80	2,74	2,19	2,56	2,78	2,76	<b>2,64</b>
<b>100</b>	3,42	3,40	2,51	3,11	2,41	1,65	<b>2,75</b>
<b>125</b>	3,25	3,27	3,23	3,28	2,93	2,92	<b>3,15</b>
<b>160</b>	2,82	2,90	2,70	2,71	2,38	2,46	<b>2,66</b>
<b>200</b>	2,84	2,95	2,47	2,50	2,23	2,27	<b>2,54</b>
<b>250</b>	2,71	2,59	2,50	2,45	2,36	2,52	<b>2,52</b>
<b>315</b>	2,35	2,11	2,25	2,33	2,25	2,36	<b>2,28</b>
<b>400</b>	2,21	2,26	2,13	2,17	2,36	2,26	<b>2,23</b>
<b>500</b>	2,02	2,17	2,16	2,37	2,03	2,20	<b>2,16</b>
<b>630</b>	2,15	2,14	2,17	2,20	2,14	2,18	<b>2,16</b>
<b>800</b>	2,24	2,15	2,17	2,26	2,34	2,26	<b>2,24</b>
<b>1000</b>	2,41	2,22	2,36	2,21	2,19	2,37	<b>2,29</b>
<b>1250</b>	2,42	2,36	2,26	2,37	2,41	2,43	<b>2,38</b>
<b>1600</b>	2,31	2,33	2,31	2,38	2,33	2,36	<b>2,34</b>
<b>2000</b>	2,24	2,25	2,33	2,33	2,30	2,27	<b>2,29</b>
<b>2500</b>	2,18	2,18	2,14	2,19	2,19	2,25	<b>2,19</b>
<b>3150</b>	2,07	2,01	2,04	2,02	2,03	1,97	<b>2,02</b>
<b>4000</b>	1,82	1,86	1,82	1,85	1,80	1,79	<b>1,82</b>
<b>5000</b>	1,58	1,54	1,54	1,57	1,54	1,53	<b>1,55</b>

Tabla. XI. Tiempos de reverberación registrados en cada una de las posiciones de micrófono en el recinto receptor con la fuente en la posición 3.

Siendo  $T_{R3}$  Medio el tiempo de reverberación medio medido en sala receptora correspondiendo con la posición 3 de fuente.

La tabla XII presenta el nivel de ruido de fondo medido en sala receptora.

<b>Ruido de Fondo <math>F_3</math></b>			
<b>Posición</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b><math>L_{RF3}</math> Medio</b>
<b>Hz</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
<b>50</b>	32,8	25,4	<b>30,5</b>
<b>63</b>	19,3	22,5	<b>21,2</b>
<b>80</b>	29,8	36,2	<b>34,1</b>
<b>100</b>	20,4	24,1	<b>22,6</b>
<b>125</b>	13,6	17,7	<b>16,1</b>
<b>160</b>	10,2	13,4	<b>12,1</b>
<b>200</b>	8,9	10,6	<b>9,8</b>
<b>250</b>	3,8	5,4	<b>4,7</b>
<b>315</b>	4,7	4,6	<b>4,7</b>
<b>400</b>	3,1	2,2	<b>2,7</b>
<b>500</b>	1,7	1,9	<b>1,8</b>
<b>630</b>	1,5	1,6	<b>1,6</b>
<b>800</b>	0,8	1,2	<b>1,0</b>
<b>1000</b>	1,4	3,0	<b>2,3</b>
<b>1250</b>	4,5	4,3	<b>4,4</b>
<b>1600</b>	4,0	3,7	<b>3,9</b>
<b>2000</b>	5,3	6,4	<b>5,9</b>
<b>2500</b>	8,1	8,0	<b>8,1</b>
<b>3150</b>	5,7	5,6	<b>5,7</b>
<b>4000</b>	5,6	5,7	<b>5,7</b>
<b>5000</b>	6,1	6,0	<b>6,1</b>

Tabla. XII. Niveles de ruido de fondo registrados en distintas posiciones de micrófono en el recinto receptor correspondientes a la medida de la fuente en la posición 3.

Siendo  $L_{RF3}$  Medio el nivel de ruido de fondo medio medido en sala receptora correspondiente a la medida con la fuente en la posición 3.

### **8.1.2. Obtención del valor medio de las tres mediciones.**

En primer lugar, con los valores de ruido de fondo obtenidos en cada una de las posiciones de fuente, analizamos si de algún modo estos niveles influyen en los niveles recibidos. La norma UNE EN ISO 10140-4 especifica que el nivel de ruido de fondo debe ser al menos 6 dB (y preferiblemente más de 15 dB) inferior al nivel de la señal y del ruido de fondo combinados en cada banda de frecuencias.

Si la diferencia de niveles es menor a 15 dB, pero mayor a 6 dB, se calculan las correcciones al nivel de la señal de acuerdo con la ecuación 37:

$$L = 10 \log(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10}) \quad (37)$$

Dónde: L es el nivel de señal ajustado [dB]

$L_{sb}$  es el nivel de señal y de ruido de fondo combinados [dB]

$L_b$  es el nivel del ruido de fondo [dB]

Si la diferencia es inferior o igual a 6 dB en cualquier banda de frecuencias, se utiliza la corrección de 1,3 dB.

En la tabla XIII se calcula la corrección en la posición 1 de fuente

Corrección por ruido de fondo $F_1$				
Hz	$L_{21}$ Medio	$L_{RF1}$ Medio	Diferencia	Corregido
	dB	dB	dB	dB
50	55,9	14,8	41,1	55,9
63	62,4	28,2	34,3	62,4
80	57,4	31,5	26,0	57,4
100	72,8	19,7	53,2	72,8
125	76,1	14,1	62,0	76,1
160	78,4	11,4	67,0	78,4
200	78,6	11,3	67,4	78,6
250	72,6	8,2	64,4	72,6
315	69,2	6,7	62,6	69,2
400	64,8	5,1	59,7	64,8
500	61,5	4,2	57,3	61,5
630	59,4	3,9	55,6	59,4
800	57,1	3,6	53,5	57,1
1000	52,5	5,4	47,1	52,5
1250	51,2	5,1	46,2	51,2
1600	52,6	3,7	48,9	52,6
2000	52,1	5,8	46,4	52,1
2500	55,0	8,4	46,6	55,0
3150	54,5	5,7	48,8	54,5
4000	52,3	5,7	46,6	52,3
5000	54,6	6,2	48,5	54,6

Tabla. XIII. Niveles de ruido recibido corregidos para los niveles correspondientes a la medida de la posición 1 de fuente.

En todas las frecuencias los valores del ruido de fondo son muy inferiores a los niveles de ruido recibido por lo que no es necesaria corrección alguna de los niveles de ruido medidos en cámara receptora para la posición 1 de fuente.

Analizamos y corregimos de la misma manera el nivel de ruido recibido en función del nivel de ruido de fondo para los valores de los niveles obtenidos correspondientes a posición 2 de fuente, se realiza esta operación en la tabla XIV.

Corrección por ruido de fondo $F_2$				
Hz	L22 Medio	LRF2 Medio	Diferencia	Corregido
	dB	dB	dB	dB
50	54,4	32,6	21,8	54,4
63	61,1	24,8	36,3	61,1
80	57,3	35,8	21,5	57,3
100	72,7	24,8	47,9	72,7
125	76,6	24,8	51,8	76,6
160	79,0	20,2	58,8	79,0
200	78,5	16,2	62,3	78,5
250	72,2	12,2	60,0	72,2
315	69,4	10,8	58,7	69,4
400	65,5	6,8	58,7	65,5
500	61,7	5,5	56,2	61,7
630	59,2	4,0	55,2	59,2
800	56,9	3,0	53,9	56,9
1000	53,1	2,8	50,4	53,1
1250	51,5	4,3	47,2	51,5
1600	52,3	3,5	48,8	52,3
2000	52,1	5,7	46,4	52,1
2500	55,2	8,4	46,8	55,2
3150	54,7	5,7	49,0	54,7
4000	52,2	5,6	46,7	52,2
5000	54,4	6,0	48,4	54,4

Tabla. XIV. Niveles de ruido recibido corregidos para los valores de nivel de recepción en la posición 2 de fuente.

Comprobamos que no es necesaria corrección alguna de los niveles de ruido recibidos correspondientes a la posición 2 de fuente.

Realizando las mismas comprobaciones ya desarrolladas para la posición 1 y 2 de fuente y comprobamos en la tabla XV que tampoco es necesario ninguna corrección para los niveles recibidos correspondientes con la medida de la fuente en la posición 3.

Corrección por ruido de fondo $F_3$				
Hz	L23 Medio	LRF3 Medio	Diferencia	Corregido
	dB	dB	dB	dB
50	66,0	30,5	35,5	66,0
63	62,3	21,2	41,1	62,3
80	55,3	34,1	21,3	55,3
100	74,5	22,6	51,8	74,5
125	76,9	16,1	60,8	76,9
160	79,5	12,1	67,5	79,5
200	77,1	9,8	67,3	77,1
250	72,0	4,7	67,3	72,0
315	69,5	4,7	64,9	69,5
400	64,4	2,7	61,7	64,4
500	61,4	1,8	59,6	61,4
630	59,6	1,6	58,0	59,6
800	58,9	1,0	57,9	58,9
1000	53,4	2,3	51,2	53,4
1250	51,8	4,4	47,4	51,8
1600	52,8	3,9	49,0	52,8
2000	52,3	5,9	46,4	52,3
2500	56,2	8,1	48,1	56,2
3150	55,4	5,7	49,8	55,4
4000	52,8	5,7	47,2	52,8
5000	56,0	6,1	50,0	56,0

Tabla. XV. Niveles de ruido recibido corregido para la posición 3 de fuente.

Una vez comprobado que no es necesaria ninguna corrección, el paso siguiente consistiría como indica la UNE EN ISO 10140-4, en que obtenidas las medias de las magnitudes para cada posición de altavoz, se procede a calcular la media de las medias. De esta manera tendríamos:

El nivel de presión medio en el recinto emisor se obtiene según tabla XVI.

Medición	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	L <sub>1</sub> Medio
Hz	L <sub>11</sub> Medio	L <sub>12</sub> Medio	L <sub>13</sub> Medio	
	dB	dB	dB	dB
50	66,9	66,8	75,4	<b>71,7</b>
63	71,7	71,6	73,0	<b>72,2</b>
80	78,9	78,7	69,8	<b>77,3</b>
100	88,7	89,0	89,0	<b>88,9</b>
125	92,3	93,2	90,3	<b>92,1</b>
160	93,3	93,8	94,0	<b>93,7</b>
200	94,7	94,2	95,3	<b>94,8</b>
250	93,5	93,1	94,3	<b>93,7</b>
315	94,2	94,0	94,2	<b>94,1</b>
400	93,2	93,5	94,4	<b>93,7</b>
500	93,0	92,8	94,4	<b>93,5</b>
630	93,4	92,8	93,9	<b>93,4</b>
800	93,6	93,8	93,4	<b>93,6</b>
1000	91,8	92,9	92,0	<b>92,2</b>
1250	93,2	93,2	93,7	<b>93,4</b>
1600	95,6	95,7	96,3	<b>95,9</b>
2000	95,4	95,7	95,9	<b>95,7</b>
2500	95,6	95,9	96,0	<b>95,9</b>
3150	95,1	95,4	95,7	<b>95,4</b>
4000	93,5	93,3	93,5	<b>93,4</b>
5000	93,1	93,3	93,8	<b>93,4</b>

Tabla. XVI. Nivel medio de ruido medido en el recinto emisor.

L<sub>1</sub> Medio será el valor considerado de ruido emitido para el cálculo del Índice de reducción acústica, R del cerramiento ensayado.

El nivel de presión medio en el receptor sería el que se presenta en la tabla XVII.

Medición	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	L <sub>2</sub> Medio
Hz	L <sub>21</sub> Medio	L <sub>22</sub> Medio	L <sub>23</sub> Medio	
	dB	dB	dB	dB
50	55,9	54,4	66,0	61,9
63	62,4	61,1	62,3	62,0
80	57,4	57,3	55,3	56,8
100	72,8	72,7	74,5	73,4
125	76,1	76,6	76,9	76,5
160	78,4	79,0	79,5	79,0
200	78,6	78,5	77,1	78,1
250	72,6	72,2	72,0	72,3
315	69,2	69,4	69,5	69,4
400	64,8	65,5	64,4	64,9
500	61,5	61,7	61,4	61,5
630	59,4	59,2	59,6	59,4
800	57,1	56,9	58,9	57,7
1000	52,5	53,1	53,4	53,0
1250	51,2	51,5	51,8	51,5
1600	52,6	52,3	52,8	52,6
2000	52,1	52,1	52,3	52,2
2500	55,0	55,2	56,2	55,5
3150	54,5	54,7	55,4	54,9
4000	52,3	52,2	52,8	52,5
5000	54,6	54,4	56,0	55,1

Tabla. XVII. Nivel medio de ruido medido en el recinto receptor.

L<sub>2</sub> Medio será el valor de ruido recibido considerado para el cálculo del Índice de reducción acústica, R del cerramiento ensayado.



El tiempo de reverberación medio y el área de absorción acústica equivalente se reflejan en la tabla XVIII.

Medición	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	T <sub>R</sub> Medio	A
Hz	T <sub>R1</sub> Medio	T <sub>R2</sub> Medio	T <sub>R3</sub> Medio		
	s	s	s	s	m <sup>2</sup>
50	2,05	2,34	2,89	2,43	5,96
63	2,18	2,79	2,68	2,55	5,67
80	2,85	2,86	2,64	2,78	5,20
100	2,29	2,27	2,75	2,44	5,94
125	2,62	2,59	3,15	2,79	5,19
160	2,70	2,72	2,66	2,69	5,37
200	2,58	2,63	2,54	2,58	5,60
250	2,34	2,33	2,52	2,40	6,03
315	2,23	2,38	2,28	2,30	6,30
400	2,18	2,19	2,23	2,20	6,57
500	2,04	2,19	2,16	2,13	6,78
630	2,19	2,09	2,16	2,15	6,73
800	2,25	2,25	2,24	2,24	6,45
1000	2,37	2,33	2,29	2,33	6,21
1250	2,30	2,32	2,38	2,33	6,20
1600	2,33	2,33	2,34	2,33	6,20
2000	2,28	2,29	2,29	2,29	6,33
2500	2,19	2,22	2,19	2,20	6,57
3150	2,03	2,05	2,02	2,03	7,11
4000	1,80	1,79	1,82	1,80	8,03
5000	1,54	1,53	1,55	1,54	9,39

Tabla. XVIII. Tiempo de reverberación medio y área de absorción acústica.

Los valores de T<sub>R</sub> Medio y A son los valores que se consideran para el cálculo del Índice de reducción acústica, R del elemento de ensayo.

El ruido de fondo medio será el presentado en la tabla XIX:

Medición	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	L <sub>RF</sub> Medio
Hz	L <sub>RF1</sub> Medio	L <sub>RF2</sub> Medio	L <sub>RF3</sub> Medio	
	dB	dB	dB	dB
<b>50</b>	14,8	32,6	30,5	<b>30,0</b>
<b>63</b>	28,2	24,8	21,2	<b>25,6</b>
<b>80</b>	31,5	35,8	34,1	<b>34,1</b>
<b>100</b>	19,7	24,8	22,6	<b>22,9</b>
<b>125</b>	14,1	24,8	16,1	<b>20,9</b>
<b>160</b>	11,4	20,2	12,1	<b>16,5</b>
<b>200</b>	11,3	16,2	9,8	<b>13,4</b>
<b>250</b>	8,2	12,2	4,7	<b>9,4</b>
<b>315</b>	6,7	10,8	4,7	<b>8,1</b>
<b>400</b>	5,1	6,8	2,7	<b>5,2</b>
<b>500</b>	4,2	5,5	1,8	<b>4,1</b>
<b>630</b>	3,9	4,0	1,6	<b>3,3</b>
<b>800</b>	3,6	3,0	1,0	<b>2,7</b>
<b>1000</b>	5,4	2,8	2,3	<b>3,7</b>
<b>1250</b>	5,1	4,3	4,4	<b>4,6</b>
<b>1600</b>	3,7	3,5	3,9	<b>3,7</b>
<b>2000</b>	5,8	5,7	5,9	<b>5,8</b>
<b>2500</b>	8,4	8,4	8,1	<b>8,3</b>
<b>3150</b>	5,7	5,7	5,7	<b>5,7</b>
<b>4000</b>	5,7	5,6	5,7	<b>5,6</b>
<b>5000</b>	6,2	6,0	6,1	<b>6,1</b>

Tabla. XIX. Ruido de fondo medio.

Realizamos la comprobación de la posible afección del ruido de fondo en la tabla XX, también en los valores medios del nivel de ruido recibido.

Hz	L <sub>2</sub> Medio	L <sub>RF</sub> Medio	Diferencia	Corregido
	dB	dB	dB	dB
50	61,9	30,0	31,9	61,9
63	62,0	25,6	36,4	62,0
80	56,8	34,1	22,7	56,8
100	73,4	22,9	50,6	73,4
125	76,5	20,9	55,6	76,5
160	79,0	16,5	62,5	79,0
200	78,1	13,4	64,8	78,1
250	72,3	9,4	62,8	72,3
315	69,4	8,1	61,3	69,4
400	64,9	5,2	59,8	64,9
500	61,5	4,1	57,4	61,5
630	59,4	3,3	56,1	59,4
800	57,7	2,7	55,1	57,7
1000	53,0	3,7	49,3	53,0
1250	51,5	4,6	46,9	51,5
1600	52,6	3,7	48,9	52,6
2000	52,2	5,8	46,4	52,2
2500	55,5	8,3	47,2	55,5
3150	54,9	5,7	49,2	54,9
4000	52,5	5,6	46,8	52,5
5000	55,1	6,1	49,0	55,1

Tabla. XX. Corrección del ruido recibido por el ruido de fondo.

Y concluimos que, como anteriormente, no es necesaria ninguna corrección.

### 8.1.3. Cálculo del Aislamiento.

Como se ha definido con anterioridad en el apartado 3.15 del capítulo 3, el aislamiento se determina a partir del índice de reducción acústica y viene dado por la ecuación 38:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \quad (38)$$

El resumen de los valores medios de nivel de ruido en sala emisora, nivel en sala receptora y el tiempo de reverberación, así como el área de absorción acústica equivalente en el recinto receptor, obtenidos de las tres mediciones acústicas efectuadas, se presentan en la tabla XXI.

Hz	L <sub>1</sub> Medio	L <sub>2c</sub> Medio	L <sub>RF</sub> Medio	T <sub>R</sub> Medio	A
	dB	dB	dB	s	m <sup>2</sup>
50	71,7	61,9	30,0	2,43	5,96
63	72,2	62,0	25,6	2,55	5,67
80	77,3	56,8	34,1	2,78	5,20
100	88,9	73,4	22,9	2,44	5,94
125	92,1	76,5	20,9	2,79	5,19
160	93,7	79,0	16,5	2,69	5,37
200	94,8	78,1	13,4	2,58	5,60
250	93,7	72,3	9,4	2,40	6,03
315	94,1	69,4	8,1	2,30	6,30
400	93,7	64,9	5,2	2,20	6,57
500	93,5	61,5	4,1	2,13	6,78
630	93,4	59,4	3,3	2,15	6,73
800	93,6	57,7	2,7	2,24	6,45
1000	92,2	53,0	3,7	2,33	6,21
1250	93,4	51,5	4,6	2,33	6,20
1600	95,9	52,6	3,7	2,33	6,20
2000	95,7	52,2	5,8	2,29	6,33
2500	95,9	55,5	8,3	2,20	6,57
3150	95,4	54,9	5,7	2,03	7,11
4000	93,4	52,5	5,6	1,80	8,03
5000	93,4	55,1	6,1	1,54	9,39

Tabla. XXI. Resumen niveles medios de emisión, recepción y tiempo reverberación.

Por tanto como Índice de reducción acústico, aplicando la ecuación 38 facilitada, tenemos el índice de reducción sonora presentado en la tabla XXII:

Hz	R
	dB
50	11,9
63	12,5
80	23,3
100	17,7
125	18,3
160	17,3
200	19,0
250	23,5
315	26,6
400	30,5
500	33,6
630	35,6
800	37,7
1000	41,2
1250	43,8
1600	45,3
2000	45,4
2500	42,1
3150	41,9
4000	41,8
5000	38,5

Tabla. XXII. Índice de reducción acústica, R obtenido a partir de las mediciones efectuadas.

La representación gráfica de los resultados según la norma UNE EN ISO 10140 sería la siguiente (figura 51):

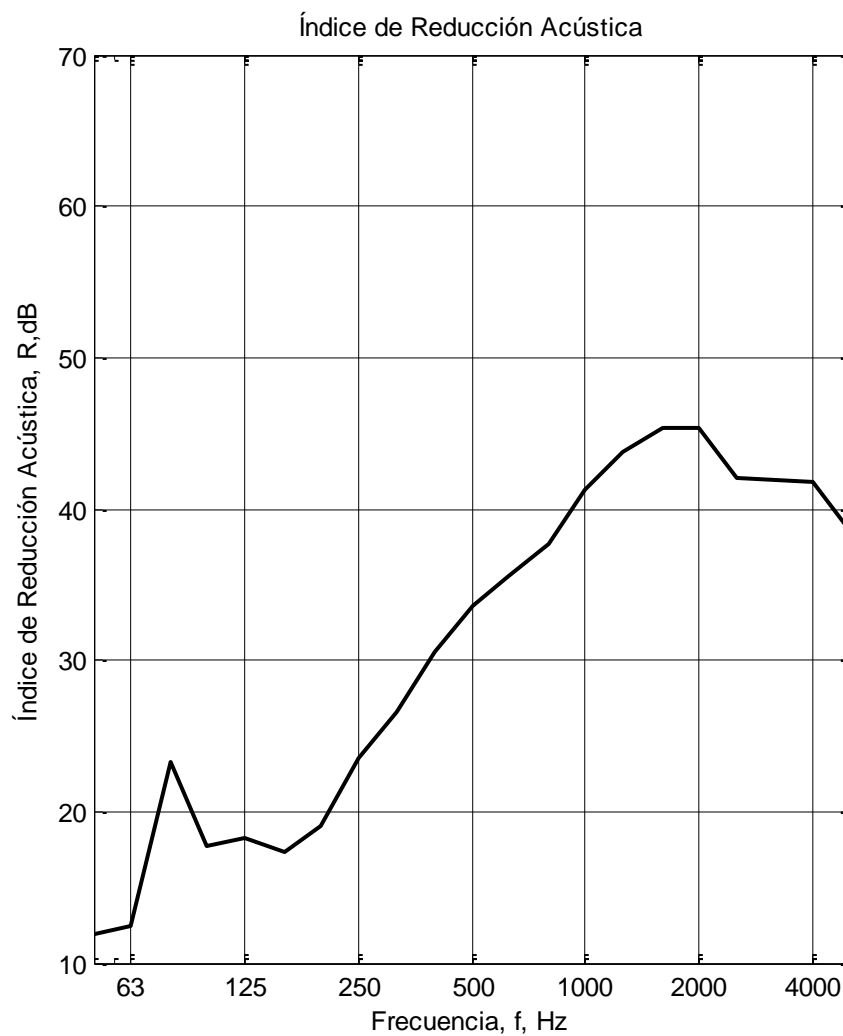


Figura 50. Representación gráfica del aislamiento a ruido aéreo del elemento de ensayo correspondiente a un cerramiento de panel acústico sencillo (véase figura 37).

El objetivo de la obtención del aislamiento a ruido aéreo que proporcionan los paneles es la determinación del aislamiento acústico del sistema vertical del laboratorio diseñado para verificar de alguna forma que el aislamiento que proporciona el sistema de ensayo diseñado es superior a la atenuación que producen los silenciadores, de tal manera, que se asegura que la única vía de propagación del sonido será a través del silenciador.

Estimar mediante cálculos el aislamiento de un sistema de paneles doble es complejo y crearía mucha incertidumbre en el valor que obtendríamos por lo que se determina hacer una simulación en un programa comercial ya diseñado para realizar este cálculo. Se ha utilizado para esta evaluación el software “Insul”

Debido a las limitaciones del programa en cuanto a materiales y a no poder definir un sistema compuesto por dos paneles acústicos independientes separados mediante una cámara de aire, se decide introducir uno que contemple los dos paneles pero sin cámara de aire, comprendería las dos chapas exteriores lisas que tendría en sus caras externas el sistema vertical, en las caras internas de ambos estaría tenida en cuenta la chapa perforada y entre ambas chapas de cada conjunto llevaría un material absorbente intermedio, el espesor total del aislamiento sería de 160 mm en lugar de los 180 mm que conlleva el sistema diseñado, pero la diferencia serían los 20 mm que componen la cámara de aire.

Se entiende que el aislamiento que produce el sistema vertical diseñado para proyecto aún será superior, debido a la existencia de la cámara de aire que supone un cambio más de impedancia que el definido en el programa “Insul”.

Los resultados obtenidos de esta manera se transponen en la tabla XXIII y se incluye el documento que facilita el programa en el anexo III.

Frecuencia [Hz]	TL [dB] Panel doble 80 + 80 mm
50	10
63	7
80	12
100	20
125	26
160	35
200	43
250	51
315	57
400	61
500	64
630	66
800	68
1000	70
1250	72
1600	74
2000	76
2500	78
3150	80
4000	82
5000	84

Tabla. XXIII. Aislamiento a ruido aéreo de dos paneles de 80 mm de espesor  
obtenido mediante el programa comercial de cálculo “Insul”



### 8.1.4. Evaluación de la Incertidumbre del resultado del ensayo de Aislamiento.

Se presentan a continuación los cálculos realizados para la evaluación de la incertidumbre del resultado de la medida del aislamiento a ruido aéreo.

El procedimiento para evaluar la incertidumbre de medida consiste en:

- Modelar la medida:  $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$
- Evaluar la incertidumbre para cada magnitud de entrada:

$u_i$ : incertidumbre típica

- Calcular la combinación de las incertidumbres de todas las magnitudes de entrada:

$u_c$ : incertidumbre combinada

- Aplicar un factor de cobertura que garantice un determinado nivel de confianza:

$U = k u_c$ : incertidumbre expandida

Para realizar este cálculo se tienen en cuenta los diferentes términos que se utilizan en la expresión con la que se obtiene el aislamiento acústico  $R$ , ecuación 39:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{S_A} \quad (39)$$

Dichos términos son: el nivel de presión sonora en el recinto de emisión de la fuente,  $L_1$ , el nivel de presión sonora en el recinto de recepción,  $L_2$ , y el tiempo de reverberación  $TR$ .

Las componentes de incertidumbre se pueden clasificar en dos tipos, en función del método para evaluar su valor numérico:

- Tipo A: Se evalúan a partir del análisis de series de observaciones (procedimientos estadísticos).

- Tipo B: Se evalúan a partir de criterios no estadísticos: certificados de calibración, especificaciones de los equipos, experiencia, sentido común, etc.

A continuación, se calculan, las componentes para la incertidumbre típica ( $u_i$ ):

- Incertidumbre del Nivel de presión sonora:

Tipo A: se calcula la desviación estándar de la media. Para ello se utilizan los 18 datos del nivel de presión sonora medidos en el recinto emisor y se calcula la desviación estándar. La desviación estándar de la media se calcula siguiendo la ecuación 40:

$$\sigma(\bar{x})_{Lp} = \frac{\sigma_{Lp}}{\sqrt{n}} \quad (40)$$

Tipo B: son las debidas a la instrumentación con las que se realizaron las medidas. Como equipo de medida se utiliza el Symphonie. Esta incertidumbre de tipo B tendrá tres componentes: una debida a la calibración con distribución normal (tabla XXV), otra debida a la resolución del equipo con distribución rectangular (tabla XXVI), y por último se tiene en cuenta la debida a la deriva de las últimas calibraciones que también tiene una distribución rectangular (tabla XXVII).

- Incertidumbre del Tiempo de reverberación.

Para calcular la incertidumbre de la medida del tiempo de reverberación se tiene en cuenta la desviación estándar de la media de los tiempos medidos (Tipo A), y la resolución del equipo (Tipo B).

Los resultados del cálculo de las desviaciones típicas y la combinada del Tiempo de reverberación se presentan en las tablas XXXIV a XXXVI que se especificarán mas adelante.

La incertidumbre típica de tipo A del nivel de presión sonora de emisión sería la presentada en la tabla XXIV:

<b>Incertidumbre de Tipo A: Desviación estándar de la media del nivel de presión en recinto emisor <math>L_1</math>.</b>					
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Desviación</b>	<b>Desv/raíz(n)</b>	<b>Distribución</b>	<b>Divisor</b>	<b>Incertidumbre típica</b>
<b>50</b>	4,48	1,06	normal	1	<b>1,06</b>
<b>63</b>	1,60	0,38	normal	1	<b>0,38</b>
<b>80</b>	5,11	1,20	normal	1	<b>1,20</b>
<b>100</b>	1,16	0,27	normal	1	<b>0,27</b>
<b>125</b>	2,97	0,70	normal	1	<b>0,70</b>
<b>160</b>	0,71	0,17	normal	1	<b>0,17</b>
<b>200</b>	0,84	0,20	normal	1	<b>0,20</b>
<b>250</b>	1,00	0,24	normal	1	<b>0,24</b>
<b>315</b>	1,26	0,30	normal	1	<b>0,30</b>
<b>400</b>	1,53	0,36	normal	1	<b>0,36</b>
<b>500</b>	1,12	0,26	normal	1	<b>0,26</b>
<b>630</b>	1,03	0,24	normal	1	<b>0,24</b>
<b>800</b>	1,10	0,26	normal	1	<b>0,26</b>
<b>1000</b>	1,24	0,29	normal	1	<b>0,29</b>
<b>1250</b>	0,85	0,20	normal	1	<b>0,20</b>
<b>1600</b>	0,95	0,22	normal	1	<b>0,22</b>
<b>2000</b>	0,86	0,20	normal	1	<b>0,20</b>
<b>2500</b>	0,84	0,20	normal	1	<b>0,20</b>
<b>3150</b>	1,08	0,25	normal	1	<b>0,25</b>
<b>4000</b>	1,05	0,25	normal	1	<b>0,25</b>
<b>5000</b>	1,23	0,29	normal	1	<b>0,29</b>

Tabla. XXIV. Incertidumbre de tipo A del Nivel de presión sonora de emisión.

La incertidumbre típica de tipo B de calibración del nivel de presión sonora de emisión sería la expresada en la tabla XXV:

<b>Incertidumbre tipo B: Calibración</b>				
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Calibración</b>	<b>Distribución</b>	<b>Divisor</b>	<b>Incertidumbre típica</b>
<b>50</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>63</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>80</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>100</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>125</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>160</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>200</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>250</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>315</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>400</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>500</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>630</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>800</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>1000</b>	0,16	normal	2	<b>0,08</b>
<b>1250</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>1600</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>2000</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>2500</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>3150</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>4000</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>5000</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>

Tabla. XXV. Incertidumbre de tipo B de calibración del Nivel de presión sonora de emisión.

La de tipo B debida a la resolución del nivel de presión sonora de emisión viene dada en la tabla XXVI:

<b>Incertidumbre tipo B: Resolución</b>				
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Resolución</b>	<b>Distribución</b>	<b>Divisor</b>	<b>Incertidumbre típica</b>
<b>50</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>63</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>80</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>100</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>125</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>160</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>200</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>250</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>315</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>400</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>500</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>630</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>800</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>1000</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>1250</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>1600</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>2000</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>2500</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>3150</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>4000</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>5000</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>

Tabla. XXVI. Incertidumbre de tipo B de resolución del Nivel de presión sonora de emisión.

La incertidumbre típica debida a la deriva de calibraciones anteriores del nivel de presión sonora de emisión sería la presentada en la tabla XXVII.

<b>Incertidumbre tipo B: Deriva</b>				
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Deriva</b>	<b>Distribución</b>	<b>Divisor</b>	<b>Incertidumbre típica</b>
<b>50</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>63</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>80</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>100</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>125</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>160</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>200</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>250</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>315</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>400</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>500</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>630</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>800</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>1000</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>1250</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>1600</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>2000</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>2500</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>3150</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>4000</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>5000</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>

Tabla. XXVII. Incertidumbre de tipo B debida a la deriva del Nivel de presión sonora de emisión.

Se presenta la tabla XXVIII donde se refleja el resumen de las incertidumbres típicas de tipo A y de tipo B, del nivel de presión sonora de emisión y el cálculo de la incertidumbre combinada de esta magnitud de entrada que vendría dada por la ecuación 41:

$$U_{CL_1} = \sqrt{u_A^2 + u_{Bcal}^2 + u_{Bres}^2 + u_{Bder}^2} \quad (41)$$

Incertidumbre de la medida del Nivel medio de presión sonora emitido L <sub>1</sub>					
Frecuencia [Hz]	U <sub>A</sub>	U <sub>B</sub> (Calib.)	U <sub>B</sub> (Resol.)	U <sub>B</sub> (Deriv.)	I.combinada (U <sub>CL1</sub> )
50	1,06	0,10	0,03	0,16	<b>1,07</b>
63	0,38	0,10	0,03	0,16	<b>0,42</b>
80	1,20	0,10	0,03	0,16	<b>1,22</b>
100	0,27	0,10	0,03	0,16	<b>0,33</b>
125	0,70	0,10	0,03	0,16	<b>0,73</b>
160	0,17	0,10	0,03	0,16	<b>0,25</b>
200	0,20	0,10	0,03	0,16	<b>0,27</b>
250	0,24	0,10	0,03	0,16	<b>0,30</b>
315	0,30	0,10	0,03	0,16	<b>0,35</b>
400	0,36	0,10	0,03	0,16	<b>0,41</b>
500	0,26	0,10	0,03	0,16	<b>0,33</b>
630	0,24	0,10	0,03	0,16	<b>0,31</b>
800	0,26	0,10	0,03	0,16	<b>0,32</b>
1000	0,29	0,08	0,03	0,16	<b>0,34</b>
1250	0,20	0,10	0,03	0,16	<b>0,28</b>
1600	0,22	0,10	0,03	0,16	<b>0,29</b>
2000	0,20	0,10	0,03	0,16	<b>0,28</b>
2500	0,20	0,10	0,03	0,16	<b>0,27</b>
3150	0,25	0,10	0,03	0,16	<b>0,32</b>
4000	0,25	0,10	0,03	0,16	<b>0,31</b>
5000	0,29	0,10	0,03	0,16	<b>0,35</b>

Tabla. XXVIII. Incertidumbre combinada del Nivel de presión sonora en el recinto de emisión.

Procedemos de la misma manera para obtener las incertidumbres típicas de tipo A y de tipo B y la combinada debidas al nivel de presión sonora de recepción. Los resultados se presentan en las tablas XXIX a XXXIII.

La tabla XXIX presenta la incertidumbre de tipo A de la media del nivel de presión sonora en el recinto receptor.

<b>Incertidumbre de Tipo A: Desviación estándar de la media del nivel de presión acústica en recepción <math>L_2</math></b>					
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Desviación</b>	<b>Desv/raíz(n)</b>	<b>Distribución</b>	<b>Divisor</b>	<b>Incertidumbre típica</b>
<b>50</b>	7,02	1,66	normal	1	<b>1,66</b>
<b>63</b>	4,39	1,03	normal	1	<b>1,03</b>
<b>80</b>	2,14	0,50	normal	1	<b>0,50</b>
<b>100</b>	1,76	0,42	normal	1	<b>0,42</b>
<b>125</b>	1,63	0,38	normal	1	<b>0,38</b>
<b>160</b>	0,98	0,23	normal	1	<b>0,23</b>
<b>200</b>	1,18	0,28	normal	1	<b>0,28</b>
<b>250</b>	0,58	0,14	normal	1	<b>0,14</b>
<b>315</b>	0,44	0,10	normal	1	<b>0,10</b>
<b>400</b>	0,78	0,18	normal	1	<b>0,18</b>
<b>500</b>	0,51	0,12	normal	1	<b>0,12</b>
<b>630</b>	0,63	0,15	normal	1	<b>0,15</b>
<b>800</b>	1,03	0,24	normal	1	<b>0,24</b>
<b>1000</b>	0,59	0,14	normal	1	<b>0,14</b>
<b>1250</b>	0,49	0,12	normal	1	<b>0,12</b>
<b>1600</b>	0,36	0,08	normal	1	<b>0,08</b>
<b>2000</b>	0,41	0,10	normal	1	<b>0,10</b>
<b>2500</b>	0,97	0,23	normal	1	<b>0,23</b>
<b>3150</b>	0,45	0,11	normal	1	<b>0,11</b>
<b>4000</b>	0,42	0,10	normal	1	<b>0,10</b>
<b>5000</b>	0,86	0,20	normal	1	<b>0,20</b>

Tabla. XXIX. Incertidumbre de tipo A del Nivel de presión sonora de recepción.



La incertidumbre de tipo B de calibración se presenta en la tabla XXX.

Incertidumbre tipo B: Calibración				
Frecuencia [Hz]	Calibración	Distribución	Divisor	Incertidumbre típica
50	0,20	normal	2	0,10
63	0,20	normal	2	0,10
80	0,20	normal	2	0,10
100	0,20	normal	2	0,10
125	0,20	normal	2	0,10
160	0,20	normal	2	0,10
200	0,20	normal	2	0,10
250	0,20	normal	2	0,10
315	0,20	normal	2	0,10
400	0,20	normal	2	0,10
500	0,20	normal	2	0,10
630	0,20	normal	2	0,10
800	0,20	normal	2	0,10
1000	0,16	normal	2	0,08
1250	0,20	normal	2	0,10
1600	0,20	normal	2	0,10
2000	0,20	normal	2	0,10
2500	0,20	normal	2	0,10
3150	0,20	normal	2	0,10
4000	0,20	normal	2	0,10
5000	0,20	normal	2	0,10

Tabla. XXX. Incertidumbre de tipo B de calibración del Nivel de presión sonora de recepción.

La incertidumbre de tipo B de resolución se presenta en la tabla XXXI.

Incertidumbre tipo B: Resolución				
Frecuencia [Hz]	Resolución	Distribución	Divisor	Incertidumbre típica
50	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,03
63	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,03
80	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,03
100	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,03
125	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,03
160	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,03
200	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,03
250	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,03
315	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,03
400	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,03
500	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,03
630	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,03
800	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,03
1000	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,03
1250	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,03
1600	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,03
2000	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,03
2500	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,03
3150	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,03
4000	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,03
5000	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,03

Tabla. XXXI. Incertidumbre de tipo B de resolución del Nivel de presión sonora de recepción.

La incertidumbre debida a la deriva se plasma en la tabla XXXII.

Incertidumbre tipo B: Deriva				
Frecuencia [Hz]	Deriva	Distribución	Divisor	Incertidumbre típica
50	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,16
63	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,16
80	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,16
100	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,16
125	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,16
160	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,16
200	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,16
250	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,16
315	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,16
400	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,16
500	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,16
630	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,16
800	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,16
1000	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,16
1250	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,16
1600	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,16
2000	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,16
2500	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,16
3150	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,16
4000	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,16
5000	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	0,16

Tabla. XXXII. Incertidumbre de tipo B debida a la deriva del Nivel de presión sonora de recepción.

La incertidumbre combinada calculada para el nivel medio de presión sonora recibido se muestra en la tabla XXXIII.

<b>Incertidumbre de la medida del Nivel medio de presión sonora en recepción <math>L_2</math></b>					
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b><math>U_A</math></b>	<b><math>U_B</math> (Calib.)</b>	<b><math>U_B</math> (Resol.)</b>	<b><math>U_B</math> (Deriv.)</b>	<b>I.combinada (<math>U_{CL2}</math>)</b>
<b>50</b>	1,66	0,10	0,03	0,16	<b>1,67</b>
<b>63</b>	1,03	0,10	0,03	0,16	<b>1,05</b>
<b>80</b>	0,50	0,10	0,03	0,16	<b>0,54</b>
<b>100</b>	0,42	0,10	0,03	0,16	<b>0,46</b>
<b>125</b>	0,38	0,10	0,03	0,16	<b>0,43</b>
<b>160</b>	0,23	0,10	0,03	0,16	<b>0,30</b>
<b>200</b>	0,28	0,10	0,03	0,16	<b>0,34</b>
<b>250</b>	0,14	0,10	0,03	0,16	<b>0,23</b>
<b>315</b>	0,10	0,10	0,03	0,16	<b>0,22</b>
<b>400</b>	0,18	0,10	0,03	0,16	<b>0,26</b>
<b>500</b>	0,12	0,10	0,03	0,16	<b>0,22</b>
<b>630</b>	0,15	0,10	0,03	0,16	<b>0,24</b>
<b>800</b>	0,24	0,10	0,03	0,16	<b>0,31</b>
<b>1000</b>	0,14	0,08	0,03	0,16	<b>0,23</b>
<b>1250</b>	0,12	0,10	0,03	0,16	<b>0,22</b>
<b>1600</b>	0,08	0,10	0,03	0,16	<b>0,21</b>
<b>2000</b>	0,10	0,10	0,03	0,16	<b>0,21</b>
<b>2500</b>	0,23	0,10	0,03	0,16	<b>0,30</b>
<b>3150</b>	0,11	0,10	0,03	0,16	<b>0,22</b>
<b>4000</b>	0,10	0,10	0,03	0,16	<b>0,21</b>
<b>5000</b>	0,20	0,10	0,03	0,16	<b>0,28</b>

Tabla. XXXIII. Incertidumbre combinada del Nivel de presión sonora de recepción.

La Incertidumbre típica de tipo A del tiempo de reverberación sería la expresada en la tabla XXXIV:

<b>Incertidumbre de Tipo A: Desviación estándar de la media del tiempo de reverberación</b>					
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Desviación</b>	<b>Desv/raiz(n)</b>	<b>Distribución</b>	<b>Divisor</b>	<b>Incertidumbre típica</b>
<b>50</b>	0,729	0,172	normal	1	<b>0,172</b>
<b>63</b>	0,425	0,100	normal	1	<b>0,100</b>
<b>80</b>	0,174	0,041	normal	1	<b>0,041</b>
<b>100</b>	0,471	0,111	normal	1	<b>0,111</b>
<b>125</b>	0,297	0,070	normal	1	<b>0,070</b>
<b>160</b>	0,165	0,039	normal	1	<b>0,039</b>
<b>200</b>	0,180	0,042	normal	1	<b>0,042</b>
<b>250</b>	0,153	0,036	normal	1	<b>0,036</b>
<b>315</b>	0,140	0,033	normal	1	<b>0,033</b>
<b>400</b>	0,117	0,028	normal	1	<b>0,028</b>
<b>500</b>	0,116	0,027	normal	1	<b>0,027</b>
<b>630</b>	0,096	0,023	normal	1	<b>0,023</b>
<b>800</b>	0,088	0,021	normal	1	<b>0,021</b>
<b>1000</b>	0,098	0,023	normal	1	<b>0,023</b>
<b>1250</b>	0,063	0,015	normal	1	<b>0,015</b>
<b>1600</b>	0,032	0,008	normal	1	<b>0,008</b>
<b>2000</b>	0,075	0,018	normal	1	<b>0,018</b>
<b>2500</b>	0,033	0,008	normal	1	<b>0,008</b>
<b>3150</b>	0,028	0,007	normal	1	<b>0,007</b>
<b>4000</b>	0,027	0,006	normal	1	<b>0,006</b>
<b>5000</b>	0,026	0,006	normal	1	<b>0,006</b>

Tabla. XXXIV. Incertidumbre de tipo A del Tiempo de reverberación.

La incertidumbre de tipo B debida a la resolución del equipo en la medida del tiempo de reverberación se muestra en la tabla XXXV:

<b>Incertidumbre tipo B: Resolución</b>				
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Resolución</b>	<b>Distribución</b>	<b>Divisor</b>	<b>Incertidumbre típica</b>
<b>50</b>	0,01	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,003</b>
<b>63</b>	0,01	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,003</b>
<b>80</b>	0,01	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,003</b>
<b>100</b>	0,01	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,003</b>
<b>125</b>	0,01	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,003</b>
<b>160</b>	0,01	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,003</b>
<b>200</b>	0,01	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,003</b>
<b>250</b>	0,01	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,003</b>
<b>315</b>	0,01	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,003</b>
<b>400</b>	0,01	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,003</b>
<b>500</b>	0,01	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,003</b>
<b>630</b>	0,01	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,003</b>
<b>800</b>	0,01	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,003</b>
<b>1000</b>	0,01	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,003</b>
<b>1250</b>	0,01	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,003</b>
<b>1600</b>	0,01	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,003</b>
<b>2000</b>	0,01	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,003</b>
<b>2500</b>	0,01	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,003</b>
<b>3150</b>	0,01	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,003</b>
<b>4000</b>	0,01	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,003</b>
<b>5000</b>	0,01	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,003</b>

Tabla. XXXV. Incertidumbre de tipo B debida a la resolución del equipo del Tiempo de reverberación.

La Incertidumbre combinada del tiempo de reverberación se presenta en la tabla XXXVI:

<b>Incertidumbre de la medida del Tiempo de Reverberación TR</b>			
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b><math>U_A</math></b>	<b><math>U_B</math> Resol.</b>	<b>I.combinada (<math>U_{cTR}</math>)</b>
<b>50</b>	0,172	0,003	<b>0,172</b>
<b>63</b>	0,100	0,003	<b>0,100</b>
<b>80</b>	0,041	0,003	<b>0,041</b>
<b>100</b>	0,111	0,003	<b>0,111</b>
<b>125</b>	0,070	0,003	<b>0,070</b>
<b>160</b>	0,039	0,003	<b>0,039</b>
<b>200</b>	0,042	0,003	<b>0,043</b>
<b>250</b>	0,036	0,003	<b>0,036</b>
<b>315</b>	0,033	0,003	<b>0,033</b>
<b>400</b>	0,028	0,003	<b>0,028</b>
<b>500</b>	0,027	0,003	<b>0,027</b>
<b>630</b>	0,023	0,003	<b>0,023</b>
<b>800</b>	0,021	0,003	<b>0,021</b>
<b>1000</b>	0,023	0,003	<b>0,023</b>
<b>1250</b>	0,015	0,003	<b>0,015</b>
<b>1600</b>	0,008	0,003	<b>0,008</b>
<b>2000</b>	0,018	0,003	<b>0,018</b>
<b>2500</b>	0,008	0,003	<b>0,008</b>
<b>3150</b>	0,007	0,003	<b>0,007</b>
<b>4000</b>	0,006	0,003	<b>0,007</b>
<b>5000</b>	0,006	0,003	<b>0,007</b>

Tabla. XXXVI. Incertidumbre combinada del Tiempo de reverberación.

- Cálculo de la incertidumbre combinada

La incertidumbre combinada de la magnitud de salida se calcula como la suma cuadrática de las incertidumbres típicas de las magnitudes de entrada, afectadas por el coeficiente de sensibilidad de cada magnitud de entrada (ecuación 42).

$$U_c = \sqrt{c_1^2 * u_{cL_1}^2 + c_2^2 * u_{cL_2}^2 + c_3^2 * u_{cT}^2} \quad (42)$$

Siendo  $c$  el coeficiente de sensibilidad y  $u$  la incertidumbre típica respectivamente de cada una de las magnitudes de entrada.

Para obtener la incertidumbre combinada del Índice de reducción acústico,  $R$  se calculan previamente los factores de sensibilidad para el nivel de presión sonora tanto de emisión como de recepción y del tiempo de reverberación.

Se deriva parcialmente la expresión correspondiente al aislamiento a ruido aéreo respecto al nivel de presión sonora de emisión y recepción y respecto al tiempo de reverberación. La ecuación a derivar es la correspondiente a la ecuación 39:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{0.161 * V} + 10 \log T \quad (43)$$

Derivada del aislamiento respecto al nivel de presión sonora de emisión,  $L_1$ .

$$\frac{\partial R}{\partial L_1} = 1 \quad (44)$$

Derivada del aislamiento respecto al nivel de presión sonora de recepción,  $L_2$ .

$$\frac{\partial R}{\partial L_2} = -1 \quad (45)$$



Derivada del aislamiento respecto al Tiempo de reverberación, TR.

$$\frac{\partial R}{\partial T} = \frac{10 \log(e)}{T} = \frac{4,34}{T} \quad (46)$$

Una vez calculados los factores de sensibilidad del tiempo de reverberación, y los niveles de presión sonora, se sustituyen los valores correspondientes a cada una de las frecuencias, y se obtiene la incertidumbre combinada (tabla XXXVII):

Hz	Incertidumbre del aislamiento a ruido aéreo						
	C <sub>1</sub>	I.combinada (U <sub>cl1</sub> )	C <sub>2</sub>	I.combinada (U <sub>cl2</sub> )	C <sub>3</sub>	I.combinada (U <sub>ctr</sub> )	I. combinada (U <sub>cr</sub> )
50	1	1,07	1	1,67	1,8	0,172	<b>2,01</b>
63	1	0,42	1	1,05	1,7	0,100	<b>1,15</b>
80	1	1,22	1	0,54	1,6	0,041	<b>1,34</b>
100	1	0,33	1	0,46	1,8	0,111	<b>0,60</b>
125	1	0,73	1	0,43	1,6	0,070	<b>0,85</b>
160	1	0,25	1	0,30	1,6	0,039	<b>0,40</b>
200	1	0,27	1	0,34	1,7	0,043	<b>0,44</b>
250	1	0,30	1	0,23	1,8	0,036	<b>0,39</b>
315	1	0,35	1	0,22	1,9	0,033	<b>0,42</b>
400	1	0,41	1	0,26	2,0	0,028	<b>0,49</b>
500	1	0,33	1	0,22	2,0	0,027	<b>0,40</b>
630	1	0,31	1	0,24	2,0	0,023	<b>0,39</b>
800	1	0,32	1	0,31	1,9	0,021	<b>0,45</b>
1000	1	0,34	1	0,23	1,9	0,023	<b>0,41</b>
1250	1	0,28	1	0,22	1,9	0,015	<b>0,36</b>
1600	1	0,29	1	0,21	1,9	0,008	<b>0,36</b>
2000	1	0,28	1	0,21	1,9	0,018	<b>0,35</b>
2500	1	0,27	1	0,30	2,0	0,008	<b>0,40</b>
3150	1	0,32	1	0,22	2,1	0,007	<b>0,39</b>
4000	1	0,31	1	0,21	2,4	0,007	<b>0,38</b>
5000	1	0,35	1	0,28	2,8	0,007	<b>0,45</b>

Tabla. XXXVII. Incertidumbre combinada del Índice de reducción acústico, R.

- Cálculo de la incertidumbre expandida

Finalmente se calcula la incertidumbre expandida (tabla XXXVIII) multiplicando la incertidumbre combinada por un factor de cobertura  $k$  que garantice un determinado nivel de confianza.

$U = k u_C$ : incertidumbre expandida

Se asume una distribución normal y se aplica  $K=2$  con lo que supone un nivel de confianza aproximadamente del 95%.

Hz	I. expandida ( $U_R$ )
50	4,0
63	2,3
80	2,7
100	1,2
125	1,7
160	0,8
200	0,9
250	0,8
315	0,8
400	1,0
500	0,8
630	0,8
800	0,9
1000	0,8
1250	0,7
1600	0,7
2000	0,7
2500	0,8
3150	0,8
4000	0,8
5000	0,9

Tabla. XXXVIII. Incertidumbre expandida del Índice de reducción acústico,  $R$ .

Por tanto el Índice de reducción acústica obtenido por medición, de los paneles acústicos contemplando su incertidumbre sería el expresado en la tabla XXXIX:

Hz	R	I. expandida (U <sub>R</sub> )
	dB	
50	11,9	4,0
63	12,5	2,3
80	23,3	2,7
100	17,7	1,2
125	18,3	1,7
160	17,3	0,8
200	19,0	0,9
250	23,5	0,8
315	26,6	0,8
400	30,5	1,0
500	33,6	0,8
630	35,6	0,8
800	37,7	0,9
1000	41,2	0,8
1250	43,8	0,7
1600	45,3	0,7
2000	45,4	0,7
2500	42,1	0,8
3150	41,9	0,8
4000	41,8	0,8
5000	38,5	0,9

Tabla. XXXIX. Índice de reducción acústico, R de los paneles acústicos Acustic 3.2 de Acuter con la correspondiente incertidumbre.

## **8.2. Medición de la atenuación de silenciadores.**

Se exponen los valores de cada una de las magnitudes medidas en cada una de las distintas posiciones de micrófono en los ensayos de atenuación de cada silenciador ensayado.

Estas posiciones están definidas en el plano 1/1 MED AT recogido en el Anexo II de este documento.

En la exposición de datos, se expondrán los valores de los niveles medidos en recepción con y sin silenciador, el tiempo de reverberación y los niveles de ruido de fondo en cada una de las seis posiciones de micrófono.

### 8.2.1. Tablas de datos de las medidas.

#### 8.2.1.1 Niveles medidos en el ensayo realizado para un silenciador tipo 100-200 de 600 x 600 x 900 mm.

Los correspondientes al nivel de ruido recibido con silenciador se muestran en la tabla XL.

Niveles de Ruido Recibido con silenciador 100-200							
Posición	Pos 01	Pos 02	Pos 03	Pos 04	Pos 05	Pos 06	L <sub>s</sub> medio
Fr [Hz]	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
50	64,3	60,3	62,3	65,3	47,3	56,4	61,9
63	65,3	61,0	61,0	57,6	60,0	61,1	61,6
80	71,1	69,2	67,7	66,4	69,5	61,8	68,4
100	70,0	64,8	62,3	62,5	60,4	63,1	65,1
125	66,8	61,2	62,4	54,8	54,5	57,1	61,7
160	62,8	53,2	54,9	51,7	50,8	51,0	56,7
200	52,2	48,1	44,8	46,3	46,4	47,0	48,2
250	48,5	46,3	42,6	42,0	42,3	42,2	44,8
315	45,3	40,8	40,2	40,3	37,8	38,6	41,3
400	39,9	34,6	34,0	33,3	34,0	32,4	35,6
500	32,8	32,5	29,1	28,7	27,5	28,4	30,3
630	29,8	26,6	28,0	24,5	25,0	25,5	27,0
800	27,9	24,6	25,2	21,5	22,0	23,1	24,6
1000	24,9	24,2	21,9	22,0	21,6	21,8	22,9
1250	20,2	18,8	17,0	16,8	18,1	17,5	18,2
1600	20,0	19,1	19,2	17,4	19,0	18,5	18,9
2000	20,9	18,8	18,4	17,8	19,7	18,1	19,1
2500	20,5	20,0	19,0	18,2	19,3	18,6	19,3
3150	26,6	24,1	22,6	21,3	22,4	21,6	23,5
4000	31,4	27,4	26,4	24,2	24,0	23,8	27,2
5000	37,0	33,8	35,3	30,8	31,9	31,2	33,9

Tabla. XL. Nivel de ruido recibido en las distintas posiciones de micrófono con silenciador de Tipo 100-200 de Transformados Acuter instalado en sistema.

Los tiempos de reverberación para este tipo de silenciador, con el insertado en el sistema son los de la tabla XLI.

<b>Tiempo de Reverberación con silenciador 100-200</b>							
<b>Posición</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b>Pos 03</b>	<b>Pos 04</b>	<b>Pos 05</b>	<b>Pos 06</b>	<b>TRs medio</b>
<b>Fr [Hz]</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>
<b>50</b>	5,62	2,27	2,58	2,85	2,39	3,11	<b>3,14</b>
<b>63</b>	3,82	3,02	2,93	2,86	3,67	4,62	<b>3,49</b>
<b>80</b>	1,89	2,53	2,24	1,02	0,67	1,31	<b>1,61</b>
<b>100</b>	1,75	1,90	1,65	1,92	2,41	2,03	<b>1,94</b>
<b>125</b>	1,68	1,84	1,94	1,63	2,37	2,27	<b>1,96</b>
<b>160</b>	1,62	2,05	1,98	1,92	1,99	1,69	<b>1,88</b>
<b>200</b>	1,53	1,76	1,64	1,61	1,62	1,75	<b>1,65</b>
<b>250</b>	1,76	1,81	1,45	1,69	1,88	1,93	<b>1,75</b>
<b>315</b>	1,80	1,60	1,89	1,98	1,79	1,87	<b>1,82</b>
<b>400</b>	1,72	1,72	1,80	1,94	1,75	1,70	<b>1,77</b>
<b>500</b>	1,71	1,84	1,66	1,85	2,00	1,91	<b>1,83</b>
<b>630</b>	1,86	1,76	1,89	1,87	2,06	1,92	<b>1,89</b>
<b>800</b>	1,85	1,90	1,83	1,87	1,88	1,92	<b>1,88</b>
<b>1000</b>	1,98	2,05	1,79	1,86	1,89	1,90	<b>1,91</b>
<b>1250</b>	2,06	1,97	1,82	1,89	1,82	2,01	<b>1,93</b>
<b>1600</b>	1,96	1,86	1,86	2,01	1,88	1,85	<b>1,90</b>
<b>2000</b>	1,82	1,87	1,75	1,79	1,92	1,90	<b>1,84</b>
<b>2500</b>	1,69	1,76	1,71	1,79	1,78	1,72	<b>1,74</b>
<b>3150</b>	1,61	1,54	1,49	1,64	1,69	1,63	<b>1,60</b>
<b>4000</b>	1,36	1,36	1,41	1,40	1,52	1,38	<b>1,41</b>
<b>5000</b>	1,19	1,13	1,12	1,23	1,21	1,19	<b>1,18</b>

Tabla. XLI. Tiempo de reverberación en las distintas posiciones de micrófono con el silenciador de Tipo 100-200 de Transformados Acuter.

La tabla XLII presenta los niveles de ruido de fondo, con el silenciador tipo 100-200 insertado.

<b>Niveles de Ruido de Fondo con silenciador tipo 100-200</b>							
<b>Posición</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b>Pos 03</b>	<b>Pos 04</b>	<b>Pos 05</b>	<b>Pos 06</b>	<b>RFs medio</b>
<b>Fr [Hz]</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
<b>50</b>	39,0	36,5	36,3	37,4	38,7	38,8	<b>37,9</b>
<b>63</b>	24,0	26,4	24,4	23,8	26,7	25,9	<b>25,4</b>
<b>80</b>	19,2	18,0	18,9	19,5	18,2	17,8	<b>18,6</b>
<b>100</b>	33,5	31,8	33,7	32,1	32,9	32,1	<b>32,7</b>
<b>125</b>	24,1	21,3	20,9	23,8	23,6	22,9	<b>22,9</b>
<b>160</b>	21,0	18,5	21,3	20,1	19,5	18,2	<b>19,9</b>
<b>200</b>	25,3	27,3	26,1	26,5	27,1	25,8	<b>26,4</b>
<b>250</b>	25,0	23,1	23,4	24,4	23,8	24,9	<b>24,2</b>
<b>315</b>	20,3	21,1	20,9	20,1	21,3	20,4	<b>20,7</b>
<b>400</b>	19,3	20,3	19,5	20,1	19,8	19,9	<b>19,8</b>
<b>500</b>	22,2	20,3	20,5	22,0	21,5	21,3	<b>21,3</b>
<b>630</b>	16,3	19,6	19,1	17,6	18,4	17,7	<b>18,2</b>
<b>800</b>	17,7	18,2	17,5	17,9	18,0	18,4	<b>18,0</b>
<b>1000</b>	12,9	14,5	14,3	13,8	13,1	13,8	<b>13,8</b>
<b>1250</b>	12,5	13,2	12,9	12,7	13,3	12,5	<b>12,9</b>
<b>1600</b>	13,9	15,1	14,2	14,6	15,0	14,3	<b>14,5</b>
<b>2000</b>	15,8	14,0	15,6	15,4	14,9	13,9	<b>15,0</b>
<b>2500</b>	12,4	12,5	12,1	12,9	12,6	12,2	<b>12,5</b>
<b>3150</b>	9,9	9,9	10,5	9,8	9,7	10,1	<b>10,0</b>
<b>4000</b>	8,0	7,8	7,5	8,1	8,2	7,8	<b>7,9</b>
<b>5000</b>	7,8	7,6	7,9	7,5	8,0	7,4	<b>7,7</b>

Tabla. XLII. Nivel de ruido de fondo en las distintas posiciones de micrófono con el silenciador de Tipo 100-200 de Transformados Acuter.

Realizamos la comprobación de la necesidad de corrección del nivel de ruido recibido por la posible afección del ruido de fondo, tabla XLIII.

<b>Corrección por Ruido de fondo en medición con silenciador tipo 100-200</b>				
<b>Fr [Hz]</b>	<b>L<sub>is</sub> medio</b>	<b>RF<sub>s</sub> medio</b>	<b>Diferencia</b>	<b>L<sub>p</sub> Correg.</b>
	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
<b>50</b>	61,9	37,9	<b>24,0</b>	<b>61,9</b>
<b>63</b>	61,6	25,4	<b>36,3</b>	<b>61,6</b>
<b>80</b>	68,4	18,6	<b>49,8</b>	<b>68,4</b>
<b>100</b>	65,1	32,7	<b>32,4</b>	<b>65,1</b>
<b>125</b>	61,7	22,9	<b>38,8</b>	<b>61,7</b>
<b>160</b>	56,7	19,9	<b>36,8</b>	<b>56,7</b>
<b>200</b>	48,2	26,4	<b>21,8</b>	<b>48,2</b>
<b>250</b>	44,8	24,2	<b>20,6</b>	<b>44,8</b>
<b>315</b>	41,3	20,7	<b>20,6</b>	<b>41,3</b>
<b>400</b>	35,6	19,8	<b>15,7</b>	<b>35,6</b>
<b>500</b>	30,3	21,3	<b>9,0</b>	<b>29,8</b>
<b>630</b>	27,0	18,2	<b>8,7</b>	<b>26,4</b>
<b>800</b>	24,6	18,0	<b>6,7</b>	<b>23,6</b>
<b>1000</b>	22,9	13,8	<b>9,2</b>	<b>22,4</b>
<b>1250</b>	18,2	12,9	<b>5,4</b>	<b>16,9</b>
<b>1600</b>	18,9	14,5	<b>4,4</b>	<b>17,6</b>
<b>2000</b>	19,1	15,0	<b>4,1</b>	<b>17,8</b>
<b>2500</b>	19,3	12,5	<b>6,9</b>	<b>18,3</b>
<b>3150</b>	23,5	10,0	<b>13,5</b>	<b>23,5</b>
<b>4000</b>	27,2	7,9	<b>19,3</b>	<b>27,2</b>
<b>5000</b>	33,9	7,7	<b>26,2</b>	<b>33,9</b>

Tabla. XLIII. Comprobación de la afección del ruido de fondo en el nivel de ruido recibido con silenciador instalado de Tipo 100-200 de Transformados Acuter.

Se han señalado en amarillo los valores que necesitaban corrección debido a que la diferencia de nivel de ruido recibido y la de fondo se encontraba entre 6 y 10 dB y en rojo los que la diferencia se encontraba entre 3 y 6 dB.

En este caso las frecuencias de 500 a 2.500 Hz con el silenciador tipo 100-200 instalado necesitan corrección.



A continuación se presentan respectivamente las tablas que recogen los valores medidos del ruido recibido, tiempo de reverberación y ruido de fondo con el conducto de sustitución en lugar del silenciador tipo 100-200.

En la tabla XLIV se presentan los niveles de ruido recibido con conducto de sustitución correspondiente al ensayo del silenciador tipo 100-200.

<b>Nivel de Ruido Recibido con conducto sustituyendo silenciador tipo 100-200</b>							
<b>Posición</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b>Pos 03</b>	<b>Pos 04</b>	<b>Pos 05</b>	<b>Pos 06</b>	<b>L<sub>lis</sub> medio</b>
<b>Fr [Hz]</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
<b>50</b>	68,8	66,3	65,3	69,3	50,3	62,5	<b>66,3</b>
<b>63</b>	68,7	65,7	66,6	63,2	62,5	64,3	<b>65,7</b>
<b>80</b>	75,9	74,4	74,6	71,6	73,0	67,2	<b>73,5</b>
<b>100</b>	74,7	70,7	70,4	68,7	66,7	68,4	<b>70,7</b>
<b>125</b>	76,1	70,7	70,8	65,1	63,6	67,3	<b>71,0</b>
<b>160</b>	72,9	64,6	64,8	64,3	62,2	64,3	<b>67,3</b>
<b>200</b>	67,4	63,4	63,5	61,7	60,4	61,6	<b>63,7</b>
<b>250</b>	68,6	66,2	67,5	62,4	62,5	61,5	<b>65,6</b>
<b>315</b>	64,9	61,3	61,0	59,3	57,7	59,3	<b>61,2</b>
<b>400</b>	58,6	54,5	54,3	53,4	54,4	52,6	<b>55,1</b>
<b>500</b>	55,2	54,5	54,9	50,4	50,0	49,9	<b>53,1</b>
<b>630</b>	54,5	50,8	50,7	49,2	50,1	49,5	<b>51,2</b>
<b>800</b>	56,9	52,8	51,9	48,9	49,6	49,6	<b>52,6</b>
<b>1000</b>	54,8	54,5	55,2	52,6	51,9	51,2	<b>53,6</b>
<b>1250</b>	51,9	49,8	50,1	49,2	48,7	48,7	<b>49,9</b>
<b>1600</b>	58,2	57,4	56,2	54,4	54,1	53,4	<b>56,0</b>
<b>2000</b>	62,6	60,8	60,5	57,1	58,1	56,3	<b>59,8</b>
<b>2500</b>	64,3	63,9	63,5	59,3	58,8	58,4	<b>62,1</b>
<b>3150</b>	65,7	64,7	64,9	60,6	60,6	60,5	<b>63,4</b>
<b>4000</b>	66,1	62,6	62,4	59,1	59,3	59,5	<b>62,3</b>
<b>5000</b>	64,7	61,0	62,0	56,8	57,5	56,8	<b>60,9</b>

Tabla. XLIV. Nivel de ruido recibido en las distintas posiciones de micrófono con conducto sustituyendo silenciador de Tipo 100-200 de Transformados Acuter.

Los valores del tiempo de reverberación con el conducto de sustitución insertado en el sistema son los mostrados en la tabla XLV:

<b>Tiempo de Reverberación con conducto de sustitución correspondiente a ensayo silenciador 100-200</b>							
<b>Posición</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b>Pos 03</b>	<b>Pos 04</b>	<b>Pos 05</b>	<b>Pos 06</b>	<b>TRc medio</b>
<b>Fr [Hz]</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>
<b>50</b>	0,69	2,59	3,20	2,52	2,87	2,89	<b>2,46</b>
<b>63</b>	3,82	3,77	2,77	2,84	3,91	4,23	<b>3,56</b>
<b>80</b>	1,87	2,48	2,12	2,31	2,44	1,33	<b>2,09</b>
<b>100</b>	2,10	1,98	1,72	1,76	2,30	0,83	<b>1,78</b>
<b>125</b>	1,76	1,91	1,94	1,70	2,36	2,27	<b>1,99</b>
<b>160</b>	1,82	2,06	1,89	1,72	2,02	1,88	<b>1,90</b>
<b>200</b>	1,56	1,73	1,77	1,59	1,47	1,72	<b>1,64</b>
<b>250</b>	1,99	1,93	1,61	1,67	1,87	1,59	<b>1,78</b>
<b>315</b>	1,79	1,62	2,04	2,04	1,82	1,88	<b>1,87</b>
<b>400</b>	1,69	1,84	1,77	1,90	1,72	1,70	<b>1,77</b>
<b>500</b>	1,73	1,82	1,65	1,91	1,84	1,79	<b>1,79</b>
<b>630</b>	1,86	1,81	1,88	1,94	2,08	1,87	<b>1,91</b>
<b>800</b>	1,87	1,92	1,84	1,96	1,89	1,96	<b>1,91</b>
<b>1000</b>	1,96	1,98	1,90	1,92	1,90	1,91	<b>1,93</b>
<b>1250</b>	1,97	1,86	1,87	1,90	1,94	2,09	<b>1,94</b>
<b>1600</b>	1,86	1,82	1,86	1,90	1,87	1,88	<b>1,87</b>
<b>2000</b>	1,83	1,83	1,75	1,79	1,88	1,86	<b>1,82</b>
<b>2500</b>	1,71	1,68	1,72	1,76	1,75	1,79	<b>1,74</b>
<b>3150</b>	1,55	1,52	1,51	1,56	1,59	1,63	<b>1,56</b>
<b>4000</b>	1,36	1,35	1,33	1,40	1,44	1,34	<b>1,37</b>
<b>5000</b>	1,06	1,11	1,13	1,08	1,15	1,12	<b>1,11</b>

Tabla. XLV. Tiempo de reverberación en las distintas posiciones de micrófono con el conducto sustituyendo al silenciador de Tipo 100-200 de Transformados Acuter.

Los valores del nivel de ruido de fondo que se obtuvieron en la medición con conducto correspondiente al ensayo del silenciador tipo 100-200 son los que se muestran en la tabla XLVI.

<b>Niveles de Ruido de Fondo con conducto de sustitución correspondiente al ensayo de silenciador tipo 100-200</b>							
<b>Posición</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b>Pos 03</b>	<b>Pos 04</b>	<b>Pos 05</b>	<b>Pos 06</b>	<b>RFc medio</b>
<b>Fr [Hz]</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
<b>50</b>	37,7	36,8	37,3	36,9	37,5	37,4	<b>37,3</b>
<b>63</b>	30,0	30,0	30,3	30,5	29,4	29,7	<b>30,0</b>
<b>80</b>	28,6	31,5	29,3	30,7	31,1	29,9	<b>30,3</b>
<b>100</b>	34,4	32,3	33,5	32,5	34,1	33,7	<b>33,5</b>
<b>125</b>	25,6	24,5	25,7	24,3	24,9	25,3	<b>25,1</b>
<b>160</b>	25,7	24,8	25,4	25,3	24,9	25,5	<b>25,3</b>
<b>200</b>	25,8	25,3	25,6	25,3	25,5	25,9	<b>25,6</b>
<b>250</b>	21,3	17,1	18,5	19,3	19,9	20,8	<b>19,7</b>
<b>315</b>	19,8	17,9	18,3	18,7	19,6	19,1	<b>19,0</b>
<b>400</b>	17,9	16,7	16,9	17,4	17,6	17,4	<b>17,3</b>
<b>500</b>	23,7	16,4	20,3	18,8	21,9	23,4	<b>21,4</b>
<b>630</b>	19,6	13,3	19,2	17,7	17,3	14,8	<b>17,5</b>
<b>800</b>	15,3	15,6	15,8	15,1	15,4	15,5	<b>15,4</b>
<b>1000</b>	16,4	11,4	16,1	13,6	15,3	12,4	<b>14,6</b>
<b>1250</b>	13,7	12,4	13,5	12,7	13,9	12,1	<b>13,1</b>
<b>1600k</b>	15,5	13,8	13,7	14,3	15,8	14,9	<b>14,7</b>
<b>2000</b>	14,5	14,8	14,9	13,9	14,6	15,1	<b>14,6</b>
<b>2500</b>	13,8	12,5	13,5	13,6	12,7	13,0	<b>13,2</b>
<b>3150</b>	12,1	9,4	9,7	10,9	12,5	10,2	<b>11,0</b>
<b>4000</b>	9,9	8,4	8,7	9,5	9,0	9,6	<b>9,2</b>
<b>5000</b>	8,5	7,4	8,2	8,6	7,9	7,1	<b>8,0</b>

Tabla. XLVI. Nivel de ruido de fondo en las distintas posiciones de micrófono con el conducto sustituyendo al silenciador de Tipo 100-200 de Transformados Acuter.

Comprobamos en la tabla XLVII que los valores obtenidos con el conducto de sustitución no necesitan corrección alguna.

<b>Corrección por Ruido de fondo de los niveles recibido con conducto de sustitución en ensayo correspondiente al silenciador tipo 100-200</b>				
<b>Fr [Hz]</b>	<b>L<sub>IIIS</sub> medio</b>	<b>RF<sub>c</sub> medio</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Lp<sub>II</sub> Correg.</b>
	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
<b>50</b>	66,3	37,3	<b>29,04</b>	<b>66,3</b>
<b>63</b>	65,7	30,0	<b>35,70</b>	<b>65,7</b>
<b>80</b>	73,5	30,3	<b>43,23</b>	<b>73,5</b>
<b>100</b>	70,7	33,5	<b>37,26</b>	<b>70,7</b>
<b>125</b>	71,0	25,1	<b>45,91</b>	<b>71,0</b>
<b>160</b>	67,3	25,3	<b>42,06</b>	<b>67,3</b>
<b>200</b>	63,7	25,6	<b>38,10</b>	<b>63,7</b>
<b>250</b>	65,6	19,7	<b>45,95</b>	<b>65,6</b>
<b>315</b>	61,2	19,0	<b>42,29</b>	<b>61,2</b>
<b>400</b>	55,1	17,3	<b>37,79</b>	<b>55,1</b>
<b>500</b>	53,1	21,4	<b>31,68</b>	<b>53,1</b>
<b>630</b>	51,2	17,5	<b>33,72</b>	<b>51,2</b>
<b>800</b>	52,6	15,4	<b>37,17</b>	<b>52,6</b>
<b>1000</b>	53,6	14,6	<b>39,05</b>	<b>53,6</b>
<b>1250</b>	49,9	13,1	<b>36,78</b>	<b>49,9</b>
<b>1600</b>	56,0	14,7	<b>41,25</b>	<b>56,0</b>
<b>2000</b>	59,8	14,6	<b>45,15</b>	<b>59,8</b>
<b>2500</b>	62,1	13,2	<b>48,88</b>	<b>62,1</b>
<b>3150</b>	63,4	11,0	<b>52,46</b>	<b>63,4</b>
<b>4000</b>	62,3	9,2	<b>53,09</b>	<b>62,3</b>
<b>5000</b>	60,9	8,0	<b>52,88</b>	<b>60,9</b>

Tabla. XLVII. Comprobación de la afección del ruido de fondo en el nivel de ruido recibido en las distintas posiciones de micrófono con el conducto de sustitución insertado en el sistema.

### 8.2.1.2 Niveles medidos en el ensayo realizado para un silenciador tipo 150-200 de 700 x 600 x 900 mm.

Se presentan los datos de la misma manera para los silenciadores tipo 150-200 que con anterioridad se presentaron para el silenciador tipo 100-200.

Para el silenciador tipo 150-200 los niveles de ruido recibido con silenciador son los correspondientes a la tabla XLVIII:

Niveles de Ruido Recibido con silenciador tipo 150-200 insertado en el sistema							
Posición	Pos 01	Pos 02	Pos 03	Pos 04	Pos 05	Pos 06	L <sub>115</sub> medio
Fr [Hz]	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
<b>50</b>	67,2	63,0	63,5	66,4	47,5	57,8	<b>63,8</b>
<b>63</b>	65,2	63,5	63,2	60,8	60,6	62,3	<b>62,9</b>
<b>80</b>	70,5	69,7	67,0	65,3	67,0	61,8	<b>67,7</b>
<b>100</b>	70,5	65,6	63,0	64,9	62,2	61,1	<b>65,8</b>
<b>125</b>	70,3	64,7	65,1	60,6	58,7	61,2	<b>65,3</b>
<b>160</b>	66,1	56,1	57,4	55,1	54,9	54,7	<b>60,0</b>
<b>200</b>	56,0	52,7	50,2	49,9	49,9	51,8	<b>52,4</b>
<b>250</b>	54,5	52,6	48,6	49,2	48,5	48,2	<b>51,0</b>
<b>315</b>	52,0	47,0	46,6	46,2	44,0	44,6	<b>47,7</b>
<b>400</b>	44,7	39,2	39,8	38,6	39,1	38,3	<b>40,6</b>
<b>500</b>	39,3	37,9	34,8	34,0	33,5	33,2	<b>36,1</b>
<b>630</b>	36,7	32,5	34,4	31,4	30,9	30,3	<b>33,3</b>
<b>800</b>	35,6	32,3	32,1	28,5	29,0	28,7	<b>31,9</b>
<b>1000</b>	33,3	31,9	31,5	30,0	28,7	28,6	<b>31,0</b>
<b>1250</b>	26,2	25,6	24,2	22,9	22,4	22,8	<b>24,3</b>
<b>1600</b>	27,7	26,5	26,4	25,4	25,1	24,7	<b>26,1</b>
<b>2000</b>	30,6	29,7	28,5	28,4	27,8	27,1	<b>28,8</b>
<b>2500</b>	35,0	34,0	31,7	30,9	30,7	30,8	<b>32,5</b>
<b>3150</b>	43,0	39,0	38,0	35,8	35,8	35,6	<b>38,8</b>
<b>4000</b>	46,3	44,6	44,4	40,9	41,1	40,3	<b>43,5</b>
<b>5000</b>	56,2	49,3	50,8	45,7	45,5	45,6	<b>50,9</b>

Tabla. XLVIII. Nivel de ruido recibido en las distintas posiciones de micrófono con silenciador de Tipo 150-200 de Transformados Acuter.

Los tiempos de reverberación para el ensayo correspondiente al silenciador tipo 150-200 insertado en el sistema son los que se muestran en la tabla XLIX.

<b>Tiempo de Reverberación con silenciador tipo 150-200</b>							
<b>Posición</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b>Pos 03</b>	<b>Pos 04</b>	<b>Pos 05</b>	<b>Pos 06</b>	<b>TRs medio</b>
<b>Fr [Hz]</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>
<b>50</b>	3,40	2,22	2,17	3,03	2,44	2,71	<b>2,66</b>
<b>63</b>	3,53	3,48	2,82	2,98	3,78	3,97	<b>3,43</b>
<b>80</b>	1,88	2,42	2,14	2,19	0,69	1,30	<b>1,77</b>
<b>100</b>	2,04	1,90	1,59	1,83	2,38	1,90	<b>1,94</b>
<b>125</b>	1,64	1,86	1,89	1,67	2,39	2,33	<b>1,96</b>
<b>160</b>	1,89	2,00	1,81	1,96	1,98	1,92	<b>1,93</b>
<b>200</b>	1,53	1,77	1,62	1,47	1,47	1,70	<b>1,59</b>
<b>250</b>	1,98	1,87	1,52	1,66	1,76	1,58	<b>1,73</b>
<b>315</b>	1,87	1,69	1,99	1,91	1,82	1,95	<b>1,87</b>
<b>400</b>	1,61	1,68	1,78	1,79	1,73	1,68	<b>1,71</b>
<b>500</b>	1,81	1,74	1,65	1,88	1,91	1,76	<b>1,79</b>
<b>630</b>	1,78	1,82	1,87	1,88	2,01	1,88	<b>1,87</b>
<b>800</b>	1,77	1,87	1,79	1,96	1,98	1,96	<b>1,89</b>
<b>1000</b>	1,90	2,01	1,86	1,99	1,81	1,93	<b>1,92</b>
<b>1250</b>	2,04	1,97	1,87	1,88	2,04	2,03	<b>1,97</b>
<b>1600</b>	1,90	1,81	1,83	1,87	1,87	1,98	<b>1,88</b>
<b>2000</b>	1,80	1,90	1,76	1,80	1,91	1,78	<b>1,83</b>
<b>2500</b>	1,72	1,72	1,72	1,74	1,76	1,72	<b>1,73</b>
<b>3150</b>	1,53	1,51	1,55	1,60	1,62	1,62	<b>1,57</b>
<b>4000</b>	1,34	1,35	1,36	1,39	1,45	1,42	<b>1,39</b>
<b>5000</b>	1,14	1,12	1,07	1,15	1,15	1,16	<b>1,13</b>

Tabla. XLIX. Tiempo de reverberación en las distintas posiciones de micrófono con silenciador de Tipo 150-200 de Transformados Acuter.

La tabla L presenta los valores de los niveles de ruido de fondo medidos correspondiente al ensayo con el silenciador 150-200.

<b>Niveles de Ruido de Fondo con silenciador tipo 150-200</b>							
<b>Posición</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b>Pos 03</b>	<b>Pos 04</b>	<b>Pos 05</b>	<b>Pos 06</b>	<b>RF<sub>s</sub> medio</b>
<b>Fr [Hz]</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
<b>50</b>	33,4	32,2	30,5	33,3	19,5	25,2	<b>31,0</b>
<b>63</b>	25,9	22,3	19,3	25,2	26,0	29,8	<b>25,9</b>
<b>80</b>	22,4	30,2	22,0	20,9	20,2	20,1	<b>24,5</b>
<b>100</b>	27,1	29,5	26,5	22,4	22,9	17,6	<b>25,8</b>
<b>125</b>	25,0	23,1	22,3	24,9	16,7	19,1	<b>22,7</b>
<b>160</b>	22,5	18,9	18,2	20,1	19,2	14,2	<b>19,5</b>
<b>200</b>	19,5	18,4	18,8	14,4	15,2	14,8	<b>17,3</b>
<b>250</b>	17,0	15,3	19,9	12,7	18,8	11,1	<b>16,8</b>
<b>315</b>	18,6	19,8	20,5	14,4	20,0	13,9	<b>18,6</b>
<b>400</b>	18,0	19,7	18,6	12,4	18,3	14,3	<b>17,5</b>
<b>500</b>	20,7	21,3	17,2	12,5	18,0	16,4	<b>18,5</b>
<b>630</b>	14,9	14,8	14,7	8,5	14,4	9,9	<b>13,5</b>
<b>800</b>	17,2	12,1	16,4	9,4	9,7	6,6	<b>13,5</b>
<b>1000</b>	14,0	12,9	16,0	11,0	10,5	12,4	<b>13,2</b>
<b>1250</b>	11,9	11,4	14,8	9,0	9,3	13,5	<b>12,1</b>
<b>1600</b>	13,9	14,2	15,5	13,6	12,2	10,5	<b>13,6</b>
<b>2000</b>	12,8	12,9	14,0	9,4	9,2	11,2	<b>11,9</b>
<b>2500</b>	11,8	12,1	13,4	11,2	10,1	11,5	<b>11,8</b>
<b>3150</b>	10,6	10,7	11,6	8,9	9,8	9,3	<b>10,2</b>
<b>4000</b>	9,0	8,6	9,1	7,6	6,9	7,6	<b>8,2</b>
<b>5000</b>	8,2	8,2	8,6	7,4	7,1	7,6	<b>7,9</b>

Tabla. L. Nivel de ruido de fondo en las distintas posiciones de micrófono con silenciador de Tipo 150-200 de Transformados Acuter.

En la tabla LI, que presenta los valores de niveles de ruido corregido con silenciador 150-200, se puede comprobar que no es necesario realizar ninguna corrección sobre los valores medidos ya que el ruido de fondo no afecta al ruido recibido.

<b>Corrección por Ruido de fondo en valores medidos con silenciador 150-200</b>				
<b>Fr [Hz]</b>	<b>L<sub>is</sub> medio</b>	<b>RF<sub>s</sub> medio</b>	<b>Diferencia</b>	<b>L<sub>p</sub> Correg.</b>
	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
<b>50</b>	63,8	31,0	<b>32,8</b>	<b>63,8</b>
<b>63</b>	62,9	25,9	<b>37,0</b>	<b>62,9</b>
<b>80</b>	67,7	24,5	<b>43,2</b>	<b>67,7</b>
<b>100</b>	65,8	25,8	<b>40,0</b>	<b>65,8</b>
<b>125</b>	65,3	22,7	<b>42,5</b>	<b>65,3</b>
<b>160</b>	60,0	19,5	<b>40,5</b>	<b>60,0</b>
<b>200</b>	52,4	17,3	<b>35,0</b>	<b>52,4</b>
<b>250</b>	51,0	16,8	<b>34,2</b>	<b>51,0</b>
<b>315</b>	47,7	18,6	<b>29,1</b>	<b>47,7</b>
<b>400</b>	40,6	17,5	<b>23,1</b>	<b>40,6</b>
<b>500</b>	36,1	18,5	<b>17,6</b>	<b>36,1</b>
<b>630</b>	33,3	13,5	<b>19,8</b>	<b>33,3</b>
<b>800</b>	31,9	13,5	<b>18,3</b>	<b>31,9</b>
<b>1000</b>	31,0	13,2	<b>17,8</b>	<b>31,0</b>
<b>1250</b>	24,3	12,1	<b>12,1</b>	<b>24,3</b>
<b>1600</b>	26,1	13,6	<b>12,5</b>	<b>26,1</b>
<b>2000</b>	28,8	11,9	<b>16,9</b>	<b>28,8</b>
<b>2500</b>	32,5	11,8	<b>20,7</b>	<b>32,5</b>
<b>3150</b>	38,8	10,2	<b>28,5</b>	<b>38,8</b>
<b>4000</b>	43,5	8,2	<b>35,3</b>	<b>43,5</b>
<b>5000</b>	50,9	7,9	<b>43,0</b>	<b>50,9</b>

Tabla. LI. Comprobación de la afección del ruido de fondo en el nivel de ruido recibido en las distintas posiciones de micrófono con el silenciador tipo 150-200.



Los valores que se han medido con conducto de sustitución en el ensayo correspondiente al silenciador tipo 150-200.

Los niveles de ruido recibido para el conducto en este ensayo se muestran en la tabla XLII:

<b>Nivel de Ruido Recibido con conducto de sustitución correspondiente al ensayo de silenciador tipo 150-200</b>							
<b>Posición</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b>Pos 03</b>	<b>Pos 04</b>	<b>Pos 05</b>	<b>Pos 06</b>	<b>L<sub>115</sub> medio</b>
<b>Fr [Hz]</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
<b>50</b>	69,7	66,2	66,6	69,4	49,7	60,8	<b>66,7</b>
<b>63</b>	68,6	65,7	65,6	63,3	62,5	64,6	<b>65,5</b>
<b>80</b>	75,4	74,5	72,3	70,5	73,0	67,0	<b>72,8</b>
<b>100</b>	75,0	70,4	69,9	69,4	66,7	68,6	<b>70,8</b>
<b>125</b>	75,3	70,3	70,8	65,3	64,3	66,9	<b>70,5</b>
<b>160</b>	72,6	64,5	65,1	64,4	62,4	64,1	<b>67,2</b>
<b>200</b>	66,9	63,4	62,1	61,2	60,3	61,2	<b>63,1</b>
<b>250</b>	68,1	65,8	64,4	62,4	62,1	61,8	<b>64,7</b>
<b>315</b>	65,0	61,2	60,8	59,5	57,3	58,9	<b>61,2</b>
<b>400</b>	58,8	54,4	54,3	53,7	54,1	52,6	<b>55,2</b>
<b>500</b>	55,2	54,3	52,9	50,2	49,6	49,6	<b>52,6</b>
<b>630</b>	54,4	50,5	51,5	49,3	49,7	49,3	<b>51,2</b>
<b>800</b>	56,8	52,7	52,4	48,3	49,3	49,1	<b>52,5</b>
<b>1000</b>	54,6	54,4	54,3	52,3	51,5	51,3	<b>53,3</b>
<b>1250</b>	51,7	49,8	50,2	49,1	48,4	48,8	<b>49,8</b>
<b>1600</b>	58,1	57,0	55,7	54,2	53,9	53,3	<b>55,7</b>
<b>2000</b>	62,5	60,6	60,2	57,2	57,7	56,4	<b>59,6</b>
<b>2500</b>	64,4	64,0	62,9	59,1	58,8	58,5	<b>62,0</b>
<b>3150</b>	65,7	64,6	64,7	60,6	60,6	60,7	<b>63,3</b>
<b>4000</b>	66,3	62,7	63,3	59,4	59,4	59,5	<b>62,6</b>
<b>5000</b>	64,5	61,3	62,3	56,7	57,3	56,8	<b>60,9</b>

Tabla. LII. Niveles de ruido recibido en las distintas posiciones de micrófono con el conducto sustituyendo al silenciador tipo 150-200.

El tiempo de reverberación medido con el conducto de reverberación correspondiente al ensayo de silenciador tipo 150-200 se presenta en la tabla LIII.

<b>Tiempo de Reverberación con conducto de sustitución correspondiente al ensayo de silenciador 150-200</b>							
<b>Posición</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b>Pos 03</b>	<b>Pos 04</b>	<b>Pos 05</b>	<b>Pos 06</b>	<b>TRc medio</b>
<b>Fr [Hz]</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>
<b>50</b>	0,64	2,53	3,36	1,52	2,85	2,90	<b>2,30</b>
<b>63</b>	3,84	3,54	2,76	2,77	3,82	4,52	<b>3,54</b>
<b>80</b>	1,93	2,41	2,14	2,17	1,56	1,31	<b>1,92</b>
<b>100</b>	1,89	1,93	1,90	1,78	2,28	0,83	<b>1,77</b>
<b>125</b>	1,74	1,88	1,91	1,71	2,35	2,27	<b>1,98</b>
<b>160</b>	1,72	2,04	1,97	1,83	2,00	1,78	<b>1,89</b>
<b>200</b>	1,52	1,72	1,77	1,59	1,47	1,72	<b>1,63</b>
<b>250</b>	1,97	1,90	1,55	1,70	1,88	1,75	<b>1,79</b>
<b>315</b>	1,78	1,63	2,00	2,02	1,69	1,85	<b>1,82</b>
<b>400</b>	1,70	1,81	1,77	1,90	1,68	1,68	<b>1,75</b>
<b>500</b>	1,72	1,83	1,66	1,89	1,86	1,84	<b>1,80</b>
<b>630</b>	1,85	1,82	1,84	1,91	2,08	1,87	<b>1,89</b>
<b>800</b>	1,87	1,91	1,84	1,90	1,89	1,95	<b>1,89</b>
<b>1000</b>	1,97	1,99	1,85	1,91	1,90	1,88	<b>1,92</b>
<b>1250</b>	2,01	1,89	1,80	1,92	1,97	2,09	<b>1,94</b>
<b>1600</b>	1,87	1,83	1,87	1,87	1,90	1,86	<b>1,87</b>
<b>2000</b>	1,79	1,84	1,80	1,83	1,93	1,81	<b>1,83</b>
<b>2500</b>	1,70	1,72	1,71	1,75	1,78	1,81	<b>1,74</b>
<b>3150</b>	1,61	1,55	1,57	1,59	1,64	1,64	<b>1,60</b>
<b>4000</b>	1,41	1,40	1,39	1,43	1,46	1,40	<b>1,41</b>
<b>5000</b>	1,13	1,16	1,16	1,15	1,20	1,18	<b>1,16</b>

Tabla. LIII. Tiempos de reverberación en las distintas posiciones de micrófono con el conducto sustituyendo al silenciador tipo 150-200.

La tabla LIV transpone los valores medidos del nivel de ruido de fondo con el conducto de sustitución insertado en el sistema correspondiente al ensayo del silenciador tipo 150-200.

<b>Nivel de Ruido de Fondo con conducto de sustitución correspondiente a ensayo de silenciador tipo 150-200</b>							
<b>Posición</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b>Pos 03</b>	<b>Pos 04</b>	<b>Pos 05</b>	<b>Pos 06</b>	<b>RFc medio</b>
<b>Fr [Hz]</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
<b>50</b>	41,4	36,8	40,0	40,9	32,0	34,0	<b>38,7</b>
<b>63</b>	28,1	27,0	28,2	28,3	27,8	28,4	<b>28,0</b>
<b>80</b>	21,1	30,1	25,6	25,1	24,4	22,9	<b>25,8</b>
<b>100</b>	28,4	28,1	29,7	26,3	27,5	25,4	<b>27,8</b>
<b>125</b>	21,9	21,3	24,4	19,9	20,0	20,4	<b>21,6</b>
<b>160</b>	24,9	23,4	25,9	28,0	27,0	22,4	<b>25,7</b>
<b>200</b>	23,6	19,9	22,2	20,9	21,0	20,3	<b>21,5</b>
<b>250</b>	20,9	14,1	20,2	15,2	18,0	14,2	<b>17,9</b>
<b>315</b>	19,9	17,3	18,6	16,7	17,7	14,1	<b>17,7</b>
<b>400</b>	19,4	17,3	16,3	15,6	16,2	14,5	<b>16,8</b>
<b>500</b>	22,4	18,5	16,6	16,3	19,0	17,8	<b>19,0</b>
<b>630</b>	18,2	13,1	15,5	12,8	13,9	11,6	<b>14,8</b>
<b>800</b>	15,9	13,6	15,8	14,2	11,7	11,7	<b>14,1</b>
<b>1000</b>	14,9	10,8	15,5	10,8	11,7	11,1	<b>12,9</b>
<b>1250</b>	13,1	12,0	13,7	10,9	11,0	10,9	<b>12,1</b>
<b>1600</b>	15,3	12,8	15,0	15,4	14,0	13,6	<b>14,4</b>
<b>2000</b>	13,5	13,0	14,7	12,4	12,8	13,5	<b>13,4</b>
<b>2500</b>	12,6	12,2	13,1	12,2	11,1	12,6	<b>12,3</b>
<b>3150</b>	11,0	9,5	10,7	9,8	10,7	10,2	<b>10,3</b>
<b>4000</b>	9,0	8,5	8,9	8,4	8,0	8,6	<b>8,6</b>
<b>5000</b>	8,4	7,8	8,4	7,9	7,5	7,3	<b>7,9</b>

Tabla. LIV. Nivel de ruido de fondo en las distintas posiciones de micrófono con el conducto sustituyendo al silenciador tipo 150-200.

Se realiza el cálculo para la corrección del nivel de ruido recibido por la posible afección del ruido de fondo con el conducto insertado correspondiente al ensayo de silenciador tipo 150-200 en la tabla LV.

<b>Corrección por Ruido de fondo con conducto correspondiente a ensayo con silenciador 150-200</b>				
<b>Fr [Hz]</b>	<b>L<sub>lis</sub> medio</b>	<b>RF<sub>c</sub> medio</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Lp<sub>ii</sub> Correg.</b>
	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
<b>50</b>	66,7	38,7	<b>27,97</b>	<b>66,7</b>
<b>63</b>	65,5	28,0	<b>37,54</b>	<b>65,5</b>
<b>80</b>	72,8	25,8	<b>46,99</b>	<b>72,8</b>
<b>100</b>	70,8	27,8	<b>43,05</b>	<b>70,8</b>
<b>125</b>	70,5	21,6	<b>48,87</b>	<b>70,5</b>
<b>160</b>	67,2	25,7	<b>41,49</b>	<b>67,2</b>
<b>200</b>	63,1	21,5	<b>41,62</b>	<b>63,1</b>
<b>250</b>	64,7	17,9	<b>46,79</b>	<b>64,7</b>
<b>315</b>	61,2	17,7	<b>43,46</b>	<b>61,2</b>
<b>400</b>	55,2	16,8	<b>38,36</b>	<b>55,2</b>
<b>500</b>	52,6	19,0	<b>33,60</b>	<b>52,6</b>
<b>630</b>	51,2	14,8	<b>36,44</b>	<b>51,2</b>
<b>800</b>	52,5	14,1	<b>38,38</b>	<b>52,5</b>
<b>1000</b>	53,3	12,9	<b>40,36</b>	<b>53,3</b>
<b>1250</b>	49,8	12,1	<b>37,72</b>	<b>49,8</b>
<b>1600</b>	55,7	14,4	<b>41,26</b>	<b>55,7</b>
<b>2000</b>	59,6	13,4	<b>46,24</b>	<b>59,6</b>
<b>2500</b>	62,0	12,3	<b>49,66</b>	<b>62,0</b>
<b>3150</b>	63,3	10,3	<b>53,02</b>	<b>63,3</b>
<b>4000</b>	62,6	8,6	<b>54,01</b>	<b>62,6</b>
<b>5000</b>	60,9	7,9	<b>52,98</b>	<b>60,9</b>

Tabla. LV. Comprobación de la posible afección del ruido de fondo sobre el nivel de ruido recibido en las distintas posiciones de micrófono con el conducto sustituyendo al silenciador tipo 150-200.

Se observa que no se necesita corregir.

### 8.2.1.3 Niveles medidos en el ensayo realizado para un silenciador tipo 200-200 de 800 x 600 x 900 mm.

Siguiendo la misma relación se presentan los datos obtenidos en el ensayo correspondiente al silenciador tipo 200-200.

Los valores de ruido recibido en las distintas posiciones de micrófono para el silenciador tipo 200-200 son los mostrados en la tabla LVI:

<b>Nivel de Ruido Recibido con silenciador 200-200</b>							
<b>Posición</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b>Pos 03</b>	<b>Pos 04</b>	<b>Pos 05</b>	<b>Pos 06</b>	<b>L<sub>ns</sub> medio</b>
<b>Fr [Hz]</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
<b>50</b>	67,7	63,8	64,1	68,1	47,1	59,1	<b>64,8</b>
<b>63</b>	65,9	62,5	61,6	60,0	60,7	61,2	<b>62,5</b>
<b>80</b>	70,8	71,7	69,0	67,4	69,8	64,3	<b>69,4</b>
<b>100</b>	71,1	68,9	65,1	66,4	64,7	64,4	<b>67,5</b>
<b>125</b>	73,2	65,1	66,1	60,4	60,1	61,6	<b>67,2</b>
<b>160</b>	69,5	57,3	58,9	56,7	56,7	56,5	<b>62,9</b>
<b>200</b>	57,7	54,3	52,7	52,7	51,8	52,0	<b>54,1</b>
<b>250</b>	56,5	55,3	51,3	51,3	50,8	50,2	<b>53,3</b>
<b>315</b>	54,9	49,9	49,5	49,4	46,2	47,2	<b>50,5</b>
<b>400</b>	48,3	43,5	42,1	42,1	42,1	41,6	<b>44,1</b>
<b>500</b>	42,6	40,9	38,5	37,4	36,0	36,7	<b>39,4</b>
<b>630</b>	40,2	36,6	37,2	33,9	33,4	33,6	<b>36,6</b>
<b>800</b>	38,7	35,6	35,1	32,2	31,1	32,3	<b>35,0</b>
<b>1000</b>	38,1	35,8	35,7	34,1	31,9	33,1	<b>35,3</b>
<b>1250</b>	30,5	29,3	28,8	27,3	26,7	27,0	<b>28,5</b>
<b>1600</b>	31,3	30,3	30,0	28,9	29,9	27,7	<b>29,8</b>
<b>2000</b>	35,3	35,7	35,2	33,1	33,5	32,1	<b>34,3</b>
<b>2500</b>	47,0	42,9	41,7	39,0	40,1	39,5	<b>42,7</b>
<b>3150</b>	55,1	49,8	47,7	45,0	44,9	44,8	<b>49,8</b>
<b>4000</b>	55,8	51,6	50,7	47,2	48,1	46,8	<b>51,3</b>
<b>5000</b>	60,1	53,8	55,3	48,6	49,0	48,9	<b>54,8</b>

Tabla. LVI. Nivel de ruido recibido en las distintas posiciones de micrófono con el silenciador tipo 200-200.

Los valores para el tiempo de reverberación con el silenciador tipo 200-200 son los de la tabla LVII.

<b>Tiempo de Reverberación</b>							
<b>Posición</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b>Pos 03</b>	<b>Pos 04</b>	<b>Pos 05</b>	<b>Pos 06</b>	<b>TRs medio</b>
<b>Fr [Hz]</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>
<b>50</b>	0,56	2,70	3,29	1,00	2,62	2,18	<b>2,06</b>
<b>63</b>	3,67	2,95	2,73	2,43	3,78	4,55	<b>3,35</b>
<b>80</b>	2,04	2,45	2,21	1,18	0,69	1,22	<b>1,63</b>
<b>100</b>	1,78	1,91	1,62	1,83	2,36	2,00	<b>1,92</b>
<b>125</b>	1,63	1,81	1,86	1,71	2,25	2,23	<b>1,92</b>
<b>160</b>	1,96	2,06	1,96	2,00	1,94	1,68	<b>1,93</b>
<b>200</b>	1,50	1,83	1,57	1,47	1,52	1,64	<b>1,59</b>
<b>250</b>	1,86	1,72	1,43	1,71	1,91	1,59	<b>1,70</b>
<b>315</b>	1,80	1,79	1,97	1,83	1,76	1,77	<b>1,82</b>
<b>400</b>	1,63	1,77	1,71	1,71	1,84	1,58	<b>1,71</b>
<b>500</b>	1,77	1,89	1,63	1,82	1,78	1,78	<b>1,78</b>
<b>630</b>	1,86	1,80	1,72	1,89	1,93	1,94	<b>1,86</b>
<b>800</b>	1,83	1,91	1,82	1,99	1,77	1,97	<b>1,88</b>
<b>1000</b>	1,82	2,04	1,80	1,92	1,87	1,92	<b>1,90</b>
<b>1250</b>	2,06	1,92	1,76	1,99	1,71	2,03	<b>1,91</b>
<b>1600</b>	1,85	1,91	1,90	1,73	1,89	1,91	<b>1,87</b>
<b>2000</b>	1,82	1,85	1,78	1,82	1,95	1,89	<b>1,85</b>
<b>2500</b>	1,69	1,73	1,70	1,70	1,83	1,76	<b>1,74</b>
<b>3150</b>	1,57	1,56	1,62	1,63	1,64	1,61	<b>1,61</b>
<b>4000</b>	1,41	1,40	1,45	1,46	1,45	1,41	<b>1,43</b>
<b>5000</b>	1,16	1,17	1,12	1,25	1,25	1,21	<b>1,19</b>

Tabla. LVII. Tiempos de reverberación en las distintas posiciones de micrófono con el silenciador tipo 200-200.

La tabla LVIII presenta los niveles de ruido de fondo con silenciador tipo 200-200.

<b>Ruido de Fondo</b>							
<b>Posición</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b>Pos 03</b>	<b>Pos 04</b>	<b>Pos 05</b>	<b>Pos 06</b>	<b>RFs medio</b>
<b>Fr [Hz]</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
<b>50</b>	45,6	35,4	38,8	44,2	19,5	34,1	<b>41,0</b>
<b>63</b>	29,9	25,2	27,0	26,0	26,0	27,9	<b>27,3</b>
<b>80</b>	21,7	30,5	20,8	18,9	20,2	18,3	<b>24,4</b>
<b>100</b>	26,2	27,3	25,7	19,7	22,9	15,6	<b>24,4</b>
<b>125</b>	26,0	22,2	22,8	21,1	16,7	19,2	<b>22,3</b>
<b>160</b>	27,4	22,3	23,1	25,1	19,2	21,3	<b>23,9</b>
<b>200</b>	24,8	18,3	19,9	20,6	15,2	19,7	<b>20,7</b>
<b>250</b>	22,8	14,8	21,9	19,0	18,8	16,4	<b>19,8</b>
<b>315</b>	20,8	19,1	20,2	19,3	20,0	16,7	<b>19,5</b>
<b>400</b>	19,8	19,1	17,6	17,6	18,3	16,2	<b>18,3</b>
<b>500</b>	20,3	20,5	17,1	16,5	18,0	16,6	<b>18,5</b>
<b>630</b>	18,5	15,2	15,2	14,9	14,4	13,8	<b>15,6</b>
<b>800</b>	18,5	13,2	17,5	15,8	9,7	13,5	<b>15,6</b>
<b>1000</b>	16,1	10,5	17,3	13,4	10,5	14,1	<b>14,4</b>
<b>1250</b>	14,7	11,2	15,3	13,3	9,3	13,4	<b>13,3</b>
<b>1600</b>	16,9	12,3	16,2	15,8	12,2	14,7	<b>15,0</b>
<b>2000</b>	17,2	13,8	15,1	13,9	9,2	15,2	<b>14,6</b>
<b>2500</b>	14,5	11,9	15,4	13,7	10,1	14,5	<b>13,7</b>
<b>3150</b>	12,4	10,0	14,0	11,6	9,8	12,4	<b>11,9</b>
<b>4000</b>	10,5	8,7	11,9	9,8	6,9	10,4	<b>10,0</b>
<b>5000</b>	8,9	8,4	10,2	8,3	7,1	8,9	<b>8,7</b>

Tabla. LVIII. Nivel de ruido de fondo en las distintas posiciones de micrófono con el silenciador tipo 200-200.

Se realizan los cálculos para comprobar si es necesario corregir el nivel de ruido recibido por verse afectado por el ruido de fondo en la medida con silenciador tipo 200-200 y se comprueba que no es necesario en la tabla LIX.

<b>Corrección por Ruido de fondo en medición con silenciador tipo 200-200</b>				
<b>Fr [Hz]</b>	<b>L<sub>is</sub> medio</b>	<b>RF<sub>s</sub> medio</b>	<b>Diferencia</b>	<b>L<sub>p</sub> Correg.</b>
	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
<b>50</b>	64,81	41,05	<b>23,8</b>	<b>64,8</b>
<b>63</b>	62,47	27,30	<b>35,2</b>	<b>62,5</b>
<b>80</b>	69,42	24,37	<b>45,1</b>	<b>69,4</b>
<b>100</b>	67,53	24,39	<b>43,1</b>	<b>67,5</b>
<b>125</b>	67,24	22,28	<b>45,0</b>	<b>67,2</b>
<b>160</b>	62,87	23,88	<b>39,0</b>	<b>62,9</b>
<b>200</b>	54,09	20,72	<b>33,4</b>	<b>54,1</b>
<b>250</b>	53,29	19,81	<b>33,5</b>	<b>53,3</b>
<b>315</b>	50,53	19,53	<b>31,0</b>	<b>50,5</b>
<b>400</b>	44,07	18,25	<b>25,8</b>	<b>44,1</b>
<b>500</b>	39,36	18,49	<b>20,9</b>	<b>39,4</b>
<b>630</b>	36,57	15,63	<b>20,9</b>	<b>36,6</b>
<b>800</b>	34,99	15,60	<b>19,4</b>	<b>35,0</b>
<b>1000</b>	35,26	14,38	<b>20,9</b>	<b>35,3</b>
<b>1250</b>	28,49	13,30	<b>15,2</b>	<b>28,5</b>
<b>1600</b>	29,82	15,05	<b>14,8</b>	<b>29,8</b>
<b>2000</b>	34,34	14,64	<b>19,7</b>	<b>34,3</b>
<b>2500</b>	42,69	13,69	<b>29,0</b>	<b>42,7</b>
<b>3150</b>	49,78	11,94	<b>37,8</b>	<b>49,8</b>
<b>4000</b>	51,29	9,97	<b>41,3</b>	<b>51,3</b>
<b>5000</b>	54,85	8,73	<b>46,1</b>	<b>54,8</b>

Tabla. LIX. Comprobación de la afección del ruido de fondo sobre el nivel de ruido recibido con el silenciador tipo 200-200.



Se transponen los datos obtenidos en la medición con el conducto de sustitución correspondiente al ensayo del silenciador tipo 200-200

La tabla LX muestra los valores de los niveles de ruido recibido con conducto de sustitución:

<b>Nivel de Ruido Recibido con conducto de sustitución correspondiente al ensayo del silenciador tipo 200-200</b>							
<b>Posición</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b>Pos 03</b>	<b>Pos 04</b>	<b>Pos 05</b>	<b>Pos 06</b>	<b>L<sub>115</sub> medio</b>
<b>Fr [Hz]</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
<b>50</b>	70,5	66,1	67,8	69,5	49,1	59,0	<b>67,1</b>
<b>63</b>	68,5	65,7	64,6	63,3	62,5	64,8	<b>65,4</b>
<b>80</b>	74,8	74,5	70,0	69,4	72,9	66,7	<b>72,3</b>
<b>100</b>	75,2	70,1	69,4	70,0	66,6	68,7	<b>70,9</b>
<b>125</b>	74,4	69,8	70,7	65,4	65,0	66,5	<b>70,0</b>
<b>160</b>	72,3	64,3	65,4	64,4	62,5	63,8	<b>67,0</b>
<b>200</b>	66,3	63,4	60,6	60,6	60,1	60,7	<b>62,6</b>
<b>250</b>	67,6	65,4	61,3	62,3	61,7	62,0	<b>64,1</b>
<b>315</b>	65,1	61,1	60,5	59,6	56,9	58,5	<b>61,1</b>
<b>400</b>	59,0	54,3	54,3	53,9	53,7	52,5	<b>55,2</b>
<b>500</b>	55,2	54,1	50,9	50,0	49,1	49,3	<b>52,1</b>
<b>630</b>	54,2	50,2	52,3	49,4	49,3	49,1	<b>51,2</b>
<b>800</b>	56,7	52,6	52,9	47,7	49,0	48,6	<b>52,5</b>
<b>1000</b>	54,3	54,2	53,3	52,0	51,1	51,4	<b>52,9</b>
<b>1250</b>	51,5	49,7	50,2	49,0	48,1	48,8	<b>49,7</b>
<b>1600</b>	57,9	56,6	55,1	54,0	53,6	53,2	<b>55,4</b>
<b>2000</b>	62,3	60,3	59,9	57,2	57,3	56,5	<b>59,4</b>
<b>2500</b>	64,5	64,0	62,3	58,9	58,8	58,5	<b>61,9</b>
<b>3150</b>	65,7	64,4	64,5	60,5	60,6	60,8	<b>63,3</b>
<b>4000</b>	66,5	62,7	64,2	59,6	59,5	59,5	<b>62,9</b>
<b>5000</b>	64,3	61,6	62,5	56,5	57,0	56,8	<b>60,9</b>

Tabla. LX. Nivel de ruido recibido en las distintas posiciones de micrófono con el conducto de sustitución en lugar del silenciador tipo 200-200.

Los valores del tiempo de reverberación con conducto son los de la tabla LXI.

<b>Tiempo de Reverberación</b>							
<b>Posición</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b>Pos 03</b>	<b>Pos 04</b>	<b>Pos 05</b>	<b>Pos 06</b>	<b>TRc medio</b>
<b>Fr [Hz]</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>
<b>50</b>	0,59	2,47	3,52	0,52	2,82	2,91	<b>2,14</b>
<b>63</b>	3,85	3,30	2,75	2,70	3,72	4,80	<b>3,52</b>
<b>80</b>	1,99	2,33	2,16	2,03	0,67	1,28	<b>1,74</b>
<b>100</b>	1,67	1,87	2,08	1,80	2,26	0,82	<b>1,75</b>
<b>125</b>	1,72	1,84	1,87	1,72	2,34	2,27	<b>1,96</b>
<b>160</b>	1,61	2,01	2,04	1,93	1,98	1,67	<b>1,87</b>
<b>200</b>	1,47	1,70	1,76	1,59	1,47	1,71	<b>1,62</b>
<b>250</b>	1,94	1,87	1,48	1,72	1,89	1,91	<b>1,80</b>
<b>315</b>	1,76	1,63	1,95	1,99	1,56	1,81	<b>1,78</b>
<b>400</b>	1,71	1,77	1,76	1,89	1,64	1,65	<b>1,74</b>
<b>500</b>	1,70	1,83	1,67	1,86	1,88	1,89	<b>1,81</b>
<b>630</b>	1,83	1,82	1,79	1,88	2,07	1,86	<b>1,88</b>
<b>800</b>	1,87	1,89	1,84	1,84	1,88	1,93	<b>1,88</b>
<b>1000</b>	1,98	1,99	1,79	1,90	1,90	1,85	<b>1,90</b>
<b>1250</b>	2,05	1,91	1,73	1,94	1,99	2,08	<b>1,95</b>
<b>1600</b>	1,88	1,84	1,88	1,84	1,93	1,83	<b>1,87</b>
<b>2000</b>	1,75	1,84	1,85	1,87	1,97	1,75	<b>1,84</b>
<b>2500</b>	1,68	1,75	1,69	1,73	1,80	1,82	<b>1,75</b>
<b>3150</b>	1,66	1,57	1,63	1,61	1,68	1,65	<b>1,63</b>
<b>4000</b>	1,45	1,45	1,44	1,45	1,48	1,45	<b>1,45</b>
<b>5000</b>	1,20	1,20	1,18	1,21	1,25	1,23	<b>1,21</b>

Tabla. LXI. Tiempo de reverberación en las distintas posiciones de micrófono con el conducto de sustitución en el lugar del silenciador tipo 200-200.

Los valores del ruido de fondo medido con conducto de sustitución correspondiente al ensayo del silenciador tipo 200-200 se muestran en la tabla LXII.

<b>Niveles de Ruido de Fondo con conducto de sustitución correspondiente al ensayo de silenciador tipo 200-200</b>							
<b>Posición</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b>Pos 03</b>	<b>Pos 04</b>	<b>Pos 05</b>	<b>Pos 06</b>	<b>RFc medio</b>
<b>Fr [Hz]</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
<b>50</b>	45,00	36,80	42,60	44,80	26,40	30,70	<b>41,6</b>
<b>63</b>	26,10	24,00	26,00	26,00	26,20	27,10	<b>26,0</b>
<b>80</b>	13,60	28,70	21,80	19,50	17,60	15,80	<b>22,6</b>
<b>100</b>	22,40	23,90	25,80	20,10	20,80	17,10	<b>22,5</b>
<b>125</b>	18,10	18,10	23,10	15,40	15,00	15,50	<b>18,6</b>
<b>160</b>	24,00	21,90	26,30	30,80	29,10	19,20	<b>26,9</b>
<b>200</b>	21,40	14,40	18,80	16,50	16,50	14,70	<b>17,8</b>
<b>250</b>	20,50	11,00	21,80	11,10	16,00	7,70	<b>17,5</b>
<b>315</b>	20,00	16,60	18,90	14,70	15,80	9,10	<b>17,0</b>
<b>400</b>	20,80	17,90	15,60	13,80	14,70	11,50	<b>16,8</b>
<b>500</b>	21,10	20,60	12,80	13,70	16,10	12,20	<b>17,6</b>
<b>630</b>	16,80	12,80	11,80	7,80	10,50	8,30	<b>12,5</b>
<b>800</b>	16,50	11,60	15,90	13,30	7,90	7,90	<b>13,4</b>
<b>1000</b>	13,30	10,10	14,80	8,00	8,00	9,70	<b>11,4</b>
<b>1250</b>	12,40	11,50	13,90	9,10	8,10	9,70	<b>11,2</b>
<b>1600</b>	15,10	11,70	16,30	16,50	12,10	12,30	<b>14,5</b>
<b>2000</b>	12,50	11,10	14,50	10,90	10,90	11,90	<b>12,2</b>
<b>2500</b>	11,40	11,80	12,70	10,70	9,50	12,10	<b>11,5</b>
<b>3150</b>	9,80	9,60	11,60	8,70	8,80	10,20	<b>9,9</b>
<b>4000</b>	8,10	8,60	9,00	7,30	7,00	7,60	<b>8,0</b>
<b>5000</b>	8,20	8,10	8,70	7,10	7,10	7,50	<b>7,8</b>

Tabla. LXII. Nivel de ruido de fondo en las distintas posiciones de micrófono con el conducto de sustitución en lugar del silenciador tipo 200-200.

La no necesidad de corrección del nivel de ruido recibido con el conducto insertado en el sistema se muestra en la tabla LXIII.

Corrección por Ruido de fondo				
Fr [Hz]	L <sub>lis</sub> medio	RF <sub>c</sub> medio	Diferencia	Lp <sub>u</sub> Correg.
	dB	dB	dB	dB
50	67,15	41,58	25,6	67,1
63	65,36	25,99	39,4	65,4
80	72,27	22,63	49,6	72,3
100	70,91	22,53	48,4	70,9
125	70,00	18,60	51,4	70,0
160	67,00	26,89	40,1	67,0
200	62,61	17,78	44,8	62,6
250	64,07	17,47	46,6	64,1
315	61,11	16,98	44,1	61,1
400	55,21	16,78	38,4	55,2
500	52,12	17,58	34,5	52,1
630	51,20	12,47	38,7	51,2
800	52,45	13,42	39,0	52,5
1000	52,91	11,45	41,5	52,9
1250	49,69	11,25	38,4	49,7
1600	55,41	14,46	40,9	55,4
2000	59,42	12,17	47,3	59,4
2500	61,89	11,48	50,4	61,9
3150	63,28	9,90	53,4	63,3
4000	62,88	7,99	54,9	62,9
5000	60,88	7,82	53,1	60,9

Tabla. LXIII. Comprobación de la posible afección del ruido de fondo sobre el nivel de ruido recibido con el conducto sustituyendo al silenciador tipo 200-

200.

## 8.2.2. Cálculo de las pérdidas por inserción.

Para el cálculo de las pérdidas por inserción aplicamos la ecuación 47:

$$D_{is} = \overline{L_{pII}} - \overline{L_{pI}} + 10 \log(S_{II}/S_I) + K_{II} - K_I \quad [\text{dB}] \quad (47)$$

Se presenta en la tabla LXIV un resumen de los valores medidos y corregidos necesarios para el cálculo así como el resultado de las pérdidas por inserción obtenido:

Valores correspondientes al ensayo de Silenciador 100-200								
Fr [Hz]	C/ conducto		C/ silenciador		Conducto	Silenciador	K <sub>II</sub> - K <sub>I</sub>	D <sub>is</sub>
	TR <sub>c</sub> medio	Lp <sub>II</sub> Correg.	TR <sub>s</sub> medio	Lp <sub>I</sub> Correg.	S <sub>II</sub>	S <sub>I</sub>		
50	2,46	66,3	3,14	61,9	3,3	2,6	0	5,4
63	3,56	65,7	3,49	61,6	2,3	2,3	0	4,0
80	2,09	73,5	1,61	68,4	3,9	5,0	0	3,9
100	1,78	70,7	1,94	65,1	4,5	4,2	0	6,0
125	1,99	71,0	1,96	61,7	4,1	4,1	0	9,2
160	1,90	67,3	1,88	56,7	4,3	4,3	0	10,6
200	1,64	63,7	1,65	48,2	4,9	4,9	0	15,5
250	1,78	65,6	1,75	44,8	4,6	4,6	0	20,8
315	1,87	61,2	1,82	41,3	4,3	4,4	0	19,9
400	1,77	55,1	1,77	35,6	4,6	4,6	0	19,6
500	1,79	53,1	1,83	29,8	4,5	4,4	0	23,5
630	1,91	51,2	1,89	26,4	4,2	4,3	0	24,8
800	1,91	52,6	1,88	23,6	4,2	4,3	0	29,0
1000	1,93	53,6	1,91	22,4	4,2	4,2	0	31,2
1250	1,94	49,9	1,93	16,9	4,2	4,2	0	32,9
1600	1,87	56,0	1,90	17,6	4,3	4,3	0	38,4
2000	1,82	59,8	1,84	17,8	4,4	4,4	0	42,1
2500	1,74	62,1	1,74	18,3	4,7	4,7	0	43,8
3150	1,56	63,4	1,60	23,5	5,2	5,1	0	40,0
4000	1,37	62,3	1,41	27,2	5,9	5,8	0	35,2
5000	1,11	60,9	1,18	33,9	7,3	6,9	0	27,2

Tabla. LXIV. Tabla resumen de valores medidos para el cálculo de las pérdidas por inserción del silenciador tipo 100-200 así como los valores obtenidos de estas.

Dónde:

$SII = \frac{1}{4}$  del área de absorción del recinto reverberante con conducto.

$SI = \frac{1}{4}$  del área de absorción del recinto reverberante con silenciador.

Contemplando que el volumen del recinto es de 201 m<sup>3</sup>.

Se han señalado en amarillo los valores corregidos cuya diferencia entre el nivel de ruido recibido y el ruido de fondo se encontraba entre 6 y 10 dB y en rojo los que la diferencia se encontraba entre 3 y 6 dB como se señaló en la tabla XLIII del apartado 8.2.1.1.

Los niveles de presión recibidos con conducto de sustitución y con silenciador tipo 100-200 se presentan en la gráfica de la figura 51:

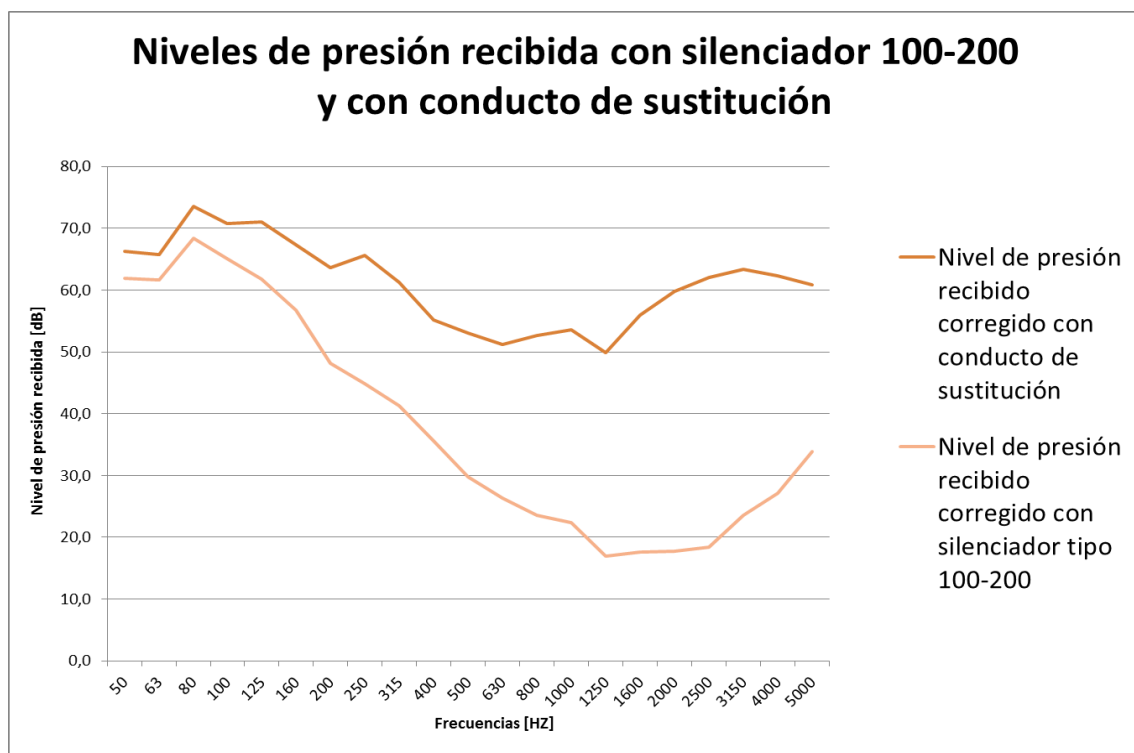


Figura 51. Niveles de ruido aéreo medio recibido y corregido con silenciador tipo 100-200 y con el conducto de sustitución.

La gráfica que representa las pérdidas por inserción para el silenciador tipo 100-200 sería la representada en la figura 52:

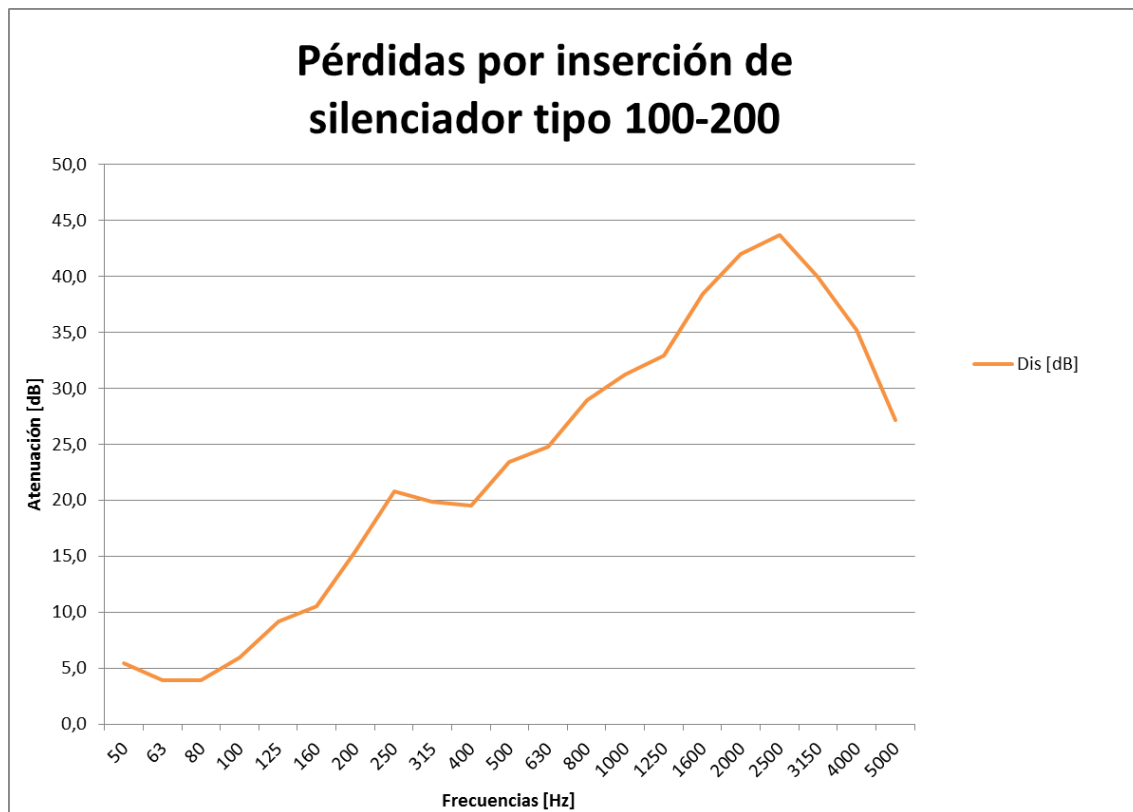


Figura 52. Atenuación del silenciador tipo 100-200 obtenida por el método de las pérdidas por inserción.

Para el silenciador de 150-200 tendríamos el resumen de los valores mostrados en la tabla LXV así como sus pérdidas por inserción:

Valores correspondientes al ensayo de Silenciador 150-200								
Fr [Hz]	C/ conducto		C/ silenciador		Conducto	Silenciador	K <sub>II</sub> - K <sub>I</sub>	D <sub>is</sub>
	TR <sub>c</sub> medio	Lp <sub>II</sub> Correg.	TR <sub>s</sub> medio	Lp <sub>I</sub> Correg.	S <sub>II</sub>	S <sub>I</sub>		
50	2,30	66,7	2,66	63,8	3,5	3,0	0	3,5
63	3,54	65,5	3,43	62,9	2,3	2,4	0	2,5
80	1,92	72,8	1,77	67,7	4,2	4,6	0	4,8
100	1,77	70,8	1,94	65,8	4,6	4,2	0	5,4
125	1,98	70,5	1,96	65,3	4,1	4,1	0	5,2
160	1,89	67,2	1,93	60,0	4,3	4,2	0	7,3
200	1,63	63,1	1,59	52,4	5,0	5,1	0	10,7
250	1,79	64,7	1,73	51,0	4,5	4,7	0	13,6
315	1,82	61,2	1,87	47,7	4,4	4,3	0	13,6
400	1,75	55,2	1,71	40,6	4,6	4,7	0	14,4
500	1,80	52,6	1,79	36,1	4,5	4,5	0	16,4
630	1,89	51,2	1,87	33,3	4,3	4,3	0	17,8
800	1,89	52,5	1,89	31,9	4,3	4,3	0	20,7
1000	1,92	53,3	1,92	31,0	4,2	4,2	0	22,3
1250	1,94	49,8	1,97	24,3	4,2	4,1	0	25,6
1600	1,87	55,7	1,88	26,1	4,3	4,3	0	29,6
2000	1,83	59,6	1,83	28,8	4,4	4,4	0	30,8
2500	1,74	62,0	1,73	32,5	4,7	4,7	0	29,4
3150	1,60	63,3	1,57	38,8	5,1	5,2	0	24,5
4000	1,41	62,6	1,39	43,5	5,7	5,8	0	19,0
5000	1,16	60,9	1,13	50,9	7,0	7,2	0	9,9

Tabla. LXV. Tabla resumen de valores medidos para el cálculo de las pérdidas por inserción del silenciador tipo 150-200 así como los valores de estas.



La representación gráfica de los niveles de presión recibidos con conducto de sustitución y con silenciador tipo 150-200 se presentan en la figura 53:

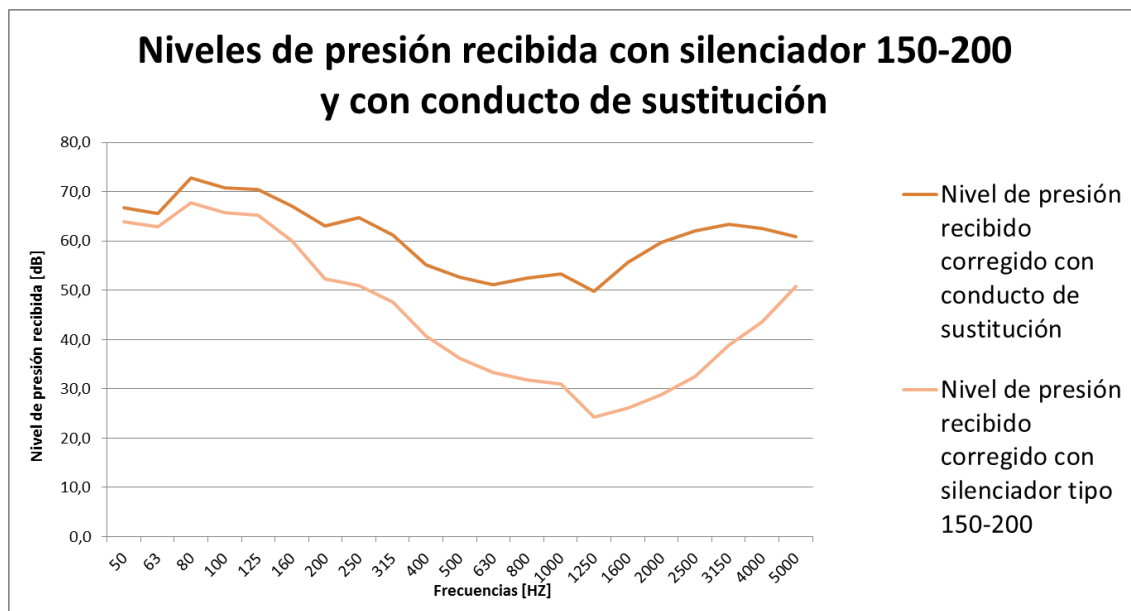


Figura 53. Niveles de ruido aéreo recibido y corregido con silenciador tipo 150-200 y con el conducto de sustitución.

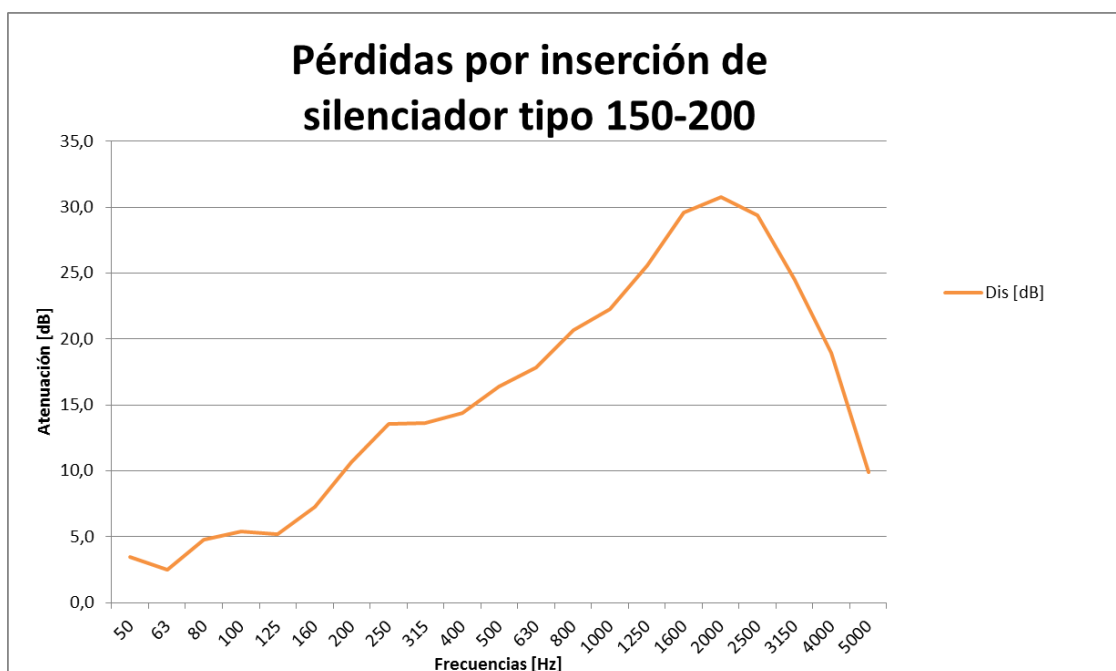


Figura 54. Atenuación del silenciador tipo 150-200 obtenida por el método de las pérdidas por inserción.

Para el silenciador tipo 200-200 los valores son los indicados en la tabla LXVI:

Valores correspondientes al ensayo de Silenciador 200-200								
Fr [Hz]	C/ conducto		C/ silenciador		Conducto	Silenciador	K <sub>II</sub> - K <sub>I</sub>	D <sub>is</sub>
	TR <sub>c</sub> medio	Lp <sub>II</sub> Correg.	TR <sub>s</sub> medio	Lp <sub>I</sub> Correg.	S <sub>II</sub>	S <sub>I</sub>		
50	2,14	67,1	2,06	64,8	3,8	3,9	0	2,2
63	3,52	65,4	3,35	62,5	2,3	2,4	0	2,7
80	1,74	72,3	1,63	69,4	4,6	5,0	0	2,6
100	1,75	70,9	1,92	67,5	4,6	4,2	0	3,8
125	1,96	70,0	1,92	67,2	4,1	4,2	0	2,7
160	1,87	67,0	1,93	62,9	4,3	4,2	0	4,3
200	1,62	62,6	1,59	54,1	5,0	5,1	0	8,4
250	1,80	64,1	1,70	53,3	4,5	4,8	0	10,5
315	1,78	61,1	1,82	50,5	4,5	4,5	0	10,7
400	1,74	55,2	1,71	44,1	4,7	4,7	0	11,1
500	1,81	52,1	1,78	39,4	4,5	4,6	0	12,7
630	1,88	51,2	1,86	36,6	4,3	4,4	0	14,6
800	1,88	52,5	1,88	35,0	4,3	4,3	0	17,5
1000	1,90	52,9	1,90	35,3	4,3	4,3	0	17,6
1250	1,95	49,7	1,91	28,5	4,2	4,2	0	21,1
1600	1,87	55,4	1,87	29,8	4,3	4,3	0	25,6
2000	1,84	59,4	1,85	34,3	4,4	4,4	0	25,1
2500	1,75	61,9	1,74	42,7	4,6	4,7	0	19,2
3150	1,63	63,3	1,61	49,8	5,0	5,0	0	13,4
4000	1,45	62,9	1,43	51,3	5,6	5,7	0	11,5
5000	1,21	60,9	1,19	54,8	6,7	6,8	0	6,0

Tabla. LXVI. Tabla resumen de valores medidos para el cálculo de las pérdidas por inserción del silenciador tipo 200-200 así como los valores obtenidos de estas.

Los valores de los niveles de presión obtenidos en la medición con el silenciador tipo 200-200 y el conducto de sustitución son los siguientes (figuras 55 y 56):

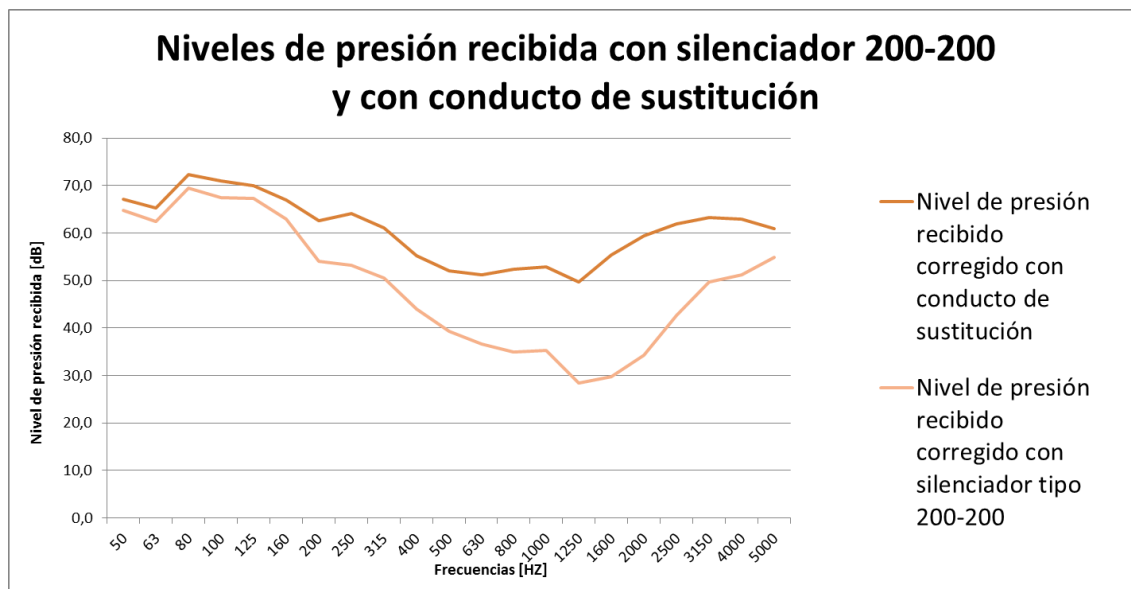


Figura 55. Niveles de ruido aéreo medio recibido y corregido con silenciador tipo 200-200 y con el conducto de sustitución.

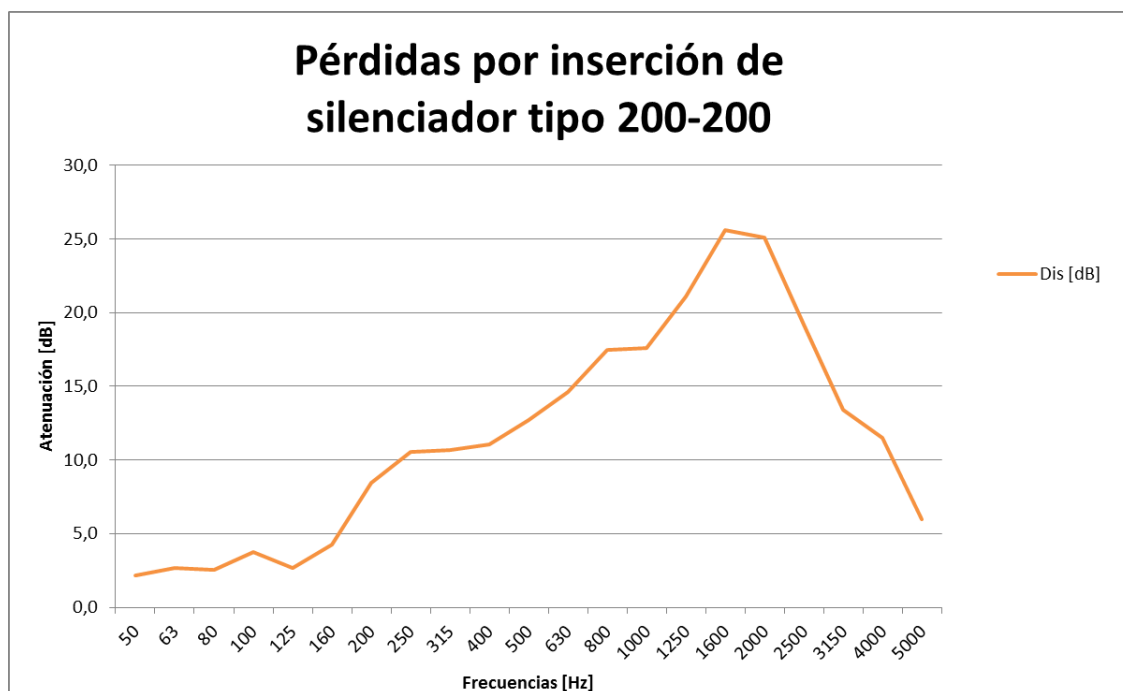


Figura 56. Atenuación del silenciador tipo 200-200 obtenida por el método de las pérdidas por inserción.

### **8.2.3. Cálculo de la incertidumbre de las pérdidas por inserción.**

Procedemos de la misma manera que lo hicimos para el aislamiento a ruido aéreo de los paneles.

Para el cálculo de la incertidumbre de las pérdidas por inserción de un silenciador, tenemos en cuenta los diferentes términos de la expresión de su cálculo que se representa en la ecuación 47:

Obtenemos la incertidumbre típica de tipo A y de tipo B del nivel medio de presión en el receptor con silenciador y lo mismo para el nivel medio de presión en el receptor con el conducto.

Calculamos también la incertidumbre típica de tipo A y de tipo B del tiempo de reverberación con silenciador y análogamente con conducto.

En el caso de existir corrección por ruido de fondo, que es el caso que acontece en el nivel de presión de ruido recibido con silenciador tipo 100-200 obtendremos también la incertidumbre que este proporciona al nivel de ruido recibido.

Una vez obtenidas las incertidumbres típicas, obtenemos la incertidumbre combinada calculando previamente los factores de sensibilidad correspondientes a cada una de ellas.

### 8.2.3.1 Incertidumbre de las pérdidas por inserción el silenciador tipo 100-200 de 600 x 600 x 900 mm.

La desviación estándar de la media del nivel medio de presión recibida para el silenciador tipo 100-200 se presenta en la tabla LXVII.

Incertidumbre de Tipo A: Desviación estándar de la media					
Frecuencia [Hz]	Desviación	Desv/raiz(n)	Distribución	Divisor	Incertidumbre típica
50	6,68	2,73	normal	1	2,73
63	2,49	1,02	normal	1	1,02
80	3,27	1,34	normal	1	1,34
100	3,33	1,36	normal	1	1,36
125	4,85	1,98	normal	1	1,98
160	4,55	1,86	normal	1	1,86
200	2,55	1,04	normal	1	1,04
250	2,74	1,12	normal	1	1,12
315	2,61	1,07	normal	1	1,07
400	2,66	1,08	normal	1	1,08
500	2,25	0,92	normal	1	0,92
630	2,02	0,82	normal	1	0,82
800	2,37	0,97	normal	1	0,97
1000	1,43	0,58	normal	1	0,58
1250	1,28	0,52	normal	1	0,52
1600	0,87	0,35	normal	1	0,35
2000	1,16	0,47	normal	1	0,47
2500	0,86	0,35	normal	1	0,35
3150	1,97	0,81	normal	1	0,81
4000	2,94	1,20	normal	1	1,20
5000	2,47	1,01	normal	1	1,01

Tabla. LXVII. Desviación estándar de la media del nivel de ruido recibido con silenciador tipo 100-200.

La incertidumbre de tipo B para el silenciador tipo 100-200 serán de calibración (tabla LXVIII), de resolución (tabla LXIX) y de deriva (tabla LXX).

<b>Incertidumbre tipo B: Calibración</b>				
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Calibración</b>	<b>Distribución</b>	<b>Divisor</b>	<b>Incertidumbre típica</b>
<b>50</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>63</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>80</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>100</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>125</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>160</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>200</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>250</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>315</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>400</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>500</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>630</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>800</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>1000</b>	0,16	normal	2	<b>0,08</b>
<b>1250</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>1600</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>2000</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>2500</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>3150</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>4000</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>
<b>5000</b>	0,20	normal	2	<b>0,10</b>

Tabla. LXVIII. Incertidumbre debida a la calibración en el nivel de ruido recibido con silenciador tipo 100-200.

<b>Incertidumbre tipo B: Resolución</b>				
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Resolución</b>	<b>Distribución</b>	<b>Divisor</b>	<b>Incertidumbre típica</b>
<b>50</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>63</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>80</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>100</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>125</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>160</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>200</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>250</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>315</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>400</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>500</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>630</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>800</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>1000</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>1250</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>1600</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>2000</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>2500</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>3150</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>4000</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>
<b>5000</b>	0,10	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,03</b>

Tabla. LXIX. Incertidumbre debida a la resolución en el nivel de ruido recibido con silenciador tipo 100-200.

<b>Incertidumbre tipo B: Deriva</b>				
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Deriva</b>	<b>Distribución</b>	<b>Divisor</b>	<b>Incertidumbre típica</b>
<b>50</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>63</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>80</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>100</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>125</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>160</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>200</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>250</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>315</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>400</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>500</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>630</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>800</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>1000</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>1250</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>1600</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>2000</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>2500</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>3150</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>4000</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>
<b>5000</b>	0,55	rectangular	$2/\sqrt{3}$	<b>0,16</b>

Tabla. LXX. Incertidumbre debida a la deriva en el nivel de ruido recibido con silenciador tipo 100-200.



Se muestra una tabla resumen (tabla LXXI) con los valores de las incertidumbre típicas del silenciador tipo 100-200 debidas al nivel de presión recibido con silenciador y el cálculo de la correspondiente incertidumbre combinada.

<b>Incertidumbre de la medida del Nivel medio de presión sonora recibido con silenciador 100-200 <math>L_{is}</math> y cálculo de la incertidumbre combinada.</b>					
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Tipo A</b>	<b>Tipo B (Calib.)</b>	<b>Tipo B (Resol.)</b>	<b>Tipo B (Deriv.)</b>	<b>I.combinada (<math>U_{CL1}</math>)</b>
<b>50</b>	2,73	0,10	0,03	0,16	<b>2,74</b>
<b>63</b>	1,02	0,10	0,03	0,16	<b>1,04</b>
<b>80</b>	1,34	0,10	0,03	0,16	<b>1,35</b>
<b>100</b>	1,36	0,10	0,03	0,16	<b>1,37</b>
<b>125</b>	1,98	0,10	0,03	0,16	<b>1,99</b>
<b>160</b>	1,86	0,10	0,03	0,16	<b>1,87</b>
<b>200</b>	1,04	0,10	0,03	0,16	<b>1,06</b>
<b>250</b>	1,12	0,10	0,03	0,16	<b>1,14</b>
<b>315</b>	1,07	0,10	0,03	0,16	<b>1,08</b>
<b>400</b>	1,08	0,10	0,03	0,16	<b>1,10</b>
<b>500</b>	0,92	0,10	0,03	0,16	<b>0,94</b>
<b>630</b>	0,82	0,10	0,03	0,16	<b>0,85</b>
<b>800</b>	0,97	0,10	0,03	0,16	<b>0,99</b>
<b>1000</b>	0,58	0,08	0,03	0,16	<b>0,61</b>
<b>1250</b>	0,52	0,10	0,03	0,16	<b>0,55</b>
<b>1600</b>	0,35	0,10	0,03	0,16	<b>0,40</b>
<b>2000</b>	0,47	0,10	0,03	0,16	<b>0,51</b>
<b>2500</b>	0,35	0,10	0,03	0,16	<b>0,40</b>
<b>3150</b>	0,81	0,10	0,03	0,16	<b>0,83</b>
<b>4000</b>	1,20	0,10	0,03	0,16	<b>1,21</b>
<b>5000</b>	1,01	0,10	0,03	0,16	<b>1,03</b>

Tabla. LXXI. Incertidumbre combinada del nivel medio de presión recibido con silenciador tipo 100-200.

Calculamos las mismas incertidumbres de tipo A y de tipo B para el ruido de fondo ya que este afectaba en las frecuencias de 500 Hz a 2.500 Hz al nivel de ruido recibido. Se presenta en la tabla LXXII la incertidumbre combinada de este, así como un resumen de los valores de las incertidumbres típicas.

<b>Incetidumbre de la medida del Nivel medio de ruido de fondo y cálculo de la incertidumbre combinada con silenciador 100-200 L<sub>is</sub></b>					
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Tipo A</b>	<b>Tipo B (Calib.)</b>	<b>Tipo B (Resol.)</b>	<b>Tipo B (Deriv.)</b>	<b>I.combinada (U<sub>CL1</sub>)</b>
<b>50</b>	0,49	0,10	0,03	0,16	<b>0,53</b>
<b>63</b>	0,52	0,10	0,03	0,16	<b>0,56</b>
<b>80</b>	0,29	0,10	0,03	0,16	<b>0,34</b>
<b>100</b>	0,32	0,10	0,03	0,16	<b>0,38</b>
<b>125</b>	0,55	0,10	0,03	0,16	<b>0,58</b>
<b>160</b>	0,52	0,10	0,03	0,16	<b>0,55</b>
<b>200</b>	0,31	0,10	0,03	0,16	<b>0,37</b>
<b>250</b>	0,32	0,10	0,03	0,16	<b>0,37</b>
<b>315</b>	0,20	0,10	0,03	0,16	<b>0,27</b>
<b>400</b>	0,16	0,10	0,03	0,16	<b>0,25</b>
<b>500</b>	0,32	0,10	0,03	0,16	<b>0,37</b>
<b>630</b>	0,48	0,10	0,03	0,16	<b>0,52</b>
<b>800</b>	0,13	0,10	0,03	0,16	<b>0,23</b>
<b>1000</b>	0,26	0,08	0,03	0,16	<b>0,32</b>
<b>1250</b>	0,14	0,10	0,03	0,16	<b>0,24</b>
<b>1600</b>	0,19	0,10	0,03	0,16	<b>0,27</b>
<b>2000</b>	0,34	0,10	0,03	0,16	<b>0,39</b>
<b>2500</b>	0,12	0,10	0,03	0,16	<b>0,22</b>
<b>3150</b>	0,12	0,10	0,03	0,16	<b>0,22</b>
<b>4000</b>	0,10	0,10	0,03	0,16	<b>0,21</b>
<b>5000</b>	0,10	0,10	0,03	0,16	<b>0,22</b>

Tabla. LXXII. Incertidumbre combinada del nivel medio de ruido de fondo recibido con silenciador tipo 100-200.

Procedemos al cálculo de la incertidumbre combinada del nivel de presión recibido. Este se ve afectado por ruido de fondo y la sensibilidad viene dada por las ecuaciones 48 y 49:

$$\frac{\partial D_{is}}{\partial L_{SB}} = \frac{-1}{1 - 10^{\frac{L_B - L_{SB}}{10}}} \quad (48)$$

$$\frac{\partial D_{is}}{\partial L_B} = \frac{1}{10^{\frac{L_B - L_{SB}}{10}} - 1} \quad (49)$$

Los datos de los valores estimados de la incertidumbre combinada de la medida del ruido recibido se presentan en la tabla LXXIII.

<b>Sensibilidades de la Incertidumbre combinada con silenciador 100-200</b>					
Fr [Hz]	Nivel de ruido recibido		Nivel ruido de fondo		I.combinada (U <sub>CL1</sub> )
	sensib. Lsb	I.combinada (U <sub>CL1</sub> )	sensib. Lb	I.combinada (U <sub>CLRF</sub> )	
50	1	2,74	0	0,53	<b>2,74</b>
63	1	1,04	0	0,56	<b>1,04</b>
80	1	1,35	0	0,34	<b>1,35</b>
100	1	1,37	0	0,38	<b>1,37</b>
125	1	1,99	0	0,58	<b>1,99</b>
160	1	1,87	0	0,55	<b>1,87</b>
200	1	1,06	0	0,37	<b>1,06</b>
250	1	1,14	0	0,37	<b>1,14</b>
315	1	1,08	0	0,27	<b>1,08</b>
400	1	1,10	0	0,25	<b>1,10</b>
500	-1,144	0,94	0,144	0,37	<b>1,07</b>
630	-1,154	0,85	0,154	0,52	<b>0,98</b>
800	-1,274	0,99	0,274	0,23	<b>1,26</b>
1000	-1,138	0,61	0,138	0,32	<b>0,70</b>
1250	-1,409	0,55	0,409	0,24	<b>0,79</b>
1600	-1,570	0,40	0,570	0,27	<b>0,65</b>
2000	-1,637	0,51	0,637	0,39	<b>0,87</b>
2500	-1,258	0,40	0,258	0,22	<b>0,51</b>
3150	1	0,83	0	0,22	<b>0,83</b>
4000	1	1,21	0	0,21	<b>1,21</b>
5000	1	1,03	0	0,22	<b>1,03</b>

Tabla. LXXIII. Incertidumbre combinada del nivel medio de presión recibido con silenciador tipo 100-200.

Operando de la misma manera se obtiene la incertidumbre combinada debidas al nivel de presión recibido con conducto insertado en el sistema y se presenta en la tabla LXXIV junto con el resumen de los valores de las incertidumbre típicas calculadas para el conducto.

<b>Incertidumbre de la medida del Nivel medio de presión sonora recibido y cálculo de la incertidumbre combinada con conducto de sustitución LIIc correspondiente al ensayo de silenciador 100-200</b>					
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Tipo A</b>	<b>Tipo B (Calib.)</b>	<b>Tipo B (Resol.)</b>	<b>Tipo B (Deriv.)</b>	<b>I.combinada (U<sub>CL1</sub>)</b>
<b>50</b>	2,87	0,10	0,03	0,16	<b>2,88</b>
<b>63</b>	0,94	0,10	0,03	0,16	<b>0,96</b>
<b>80</b>	1,27	0,10	0,03	0,16	<b>1,28</b>
<b>100</b>	1,12	0,10	0,03	0,16	<b>1,14</b>
<b>125</b>	1,86	0,10	0,03	0,16	<b>1,87</b>
<b>160</b>	1,53	0,10	0,03	0,16	<b>1,54</b>
<b>200</b>	1,00	0,10	0,03	0,16	<b>1,02</b>
<b>250</b>	1,23	0,10	0,03	0,16	<b>1,25</b>
<b>315</b>	1,02	0,10	0,03	0,16	<b>1,03</b>
<b>400</b>	0,85	0,10	0,03	0,16	<b>0,87</b>
<b>500</b>	1,07	0,10	0,03	0,16	<b>1,09</b>
<b>630</b>	0,78	0,10	0,03	0,16	<b>0,81</b>
<b>800</b>	1,22	0,10	0,03	0,16	<b>1,24</b>
<b>1000</b>	0,69	0,08	0,03	0,16	<b>0,71</b>
<b>1250</b>	0,49	0,10	0,03	0,16	<b>0,53</b>
<b>1600</b>	0,79	0,10	0,03	0,16	<b>0,82</b>
<b>2000</b>	1,00	0,10	0,03	0,16	<b>1,02</b>
<b>2500</b>	1,14	0,10	0,03	0,16	<b>1,16</b>
<b>3150</b>	1,02	0,10	0,03	0,16	<b>1,04</b>
<b>4000</b>	1,12	0,10	0,03	0,16	<b>1,14</b>
<b>5000</b>	1,34	0,10	0,03	0,16	<b>1,35</b>

Tabla. LXXIV. Incertidumbre combinada del nivel medio de presión recibido con conducto sutituyendo al silenciador tipo 100-200.

Para el cálculo de la incertidumbre combinada debida al tiempo de reverberación tendríamos en cuenta la incertidumbre de tipo A y la incertidumbre de resolución de tipo B.

La incertidumbre combinada del tiempo de reverberación con silenciador tipo 100-200 instalado se presenta en la tabla LXXV junto con los valores obtenidos de las incertidumbres típicas de tipo A y B.

<b>Incertidumbres típicas y combinada de la medida del Tiempo de Reverberación TR</b>			
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Tipo A</b>	<b>Tipo B (Resol.)</b>	<b>I.combinada (UcTR)</b>
<b>50</b>	0,512	0,003	<b>0,512</b>
<b>63</b>	0,280	0,003	<b>0,280</b>
<b>80</b>	0,297	0,003	<b>0,297</b>
<b>100</b>	0,108	0,003	<b>0,108</b>
<b>125</b>	0,125	0,003	<b>0,125</b>
<b>160</b>	0,072	0,003	<b>0,072</b>
<b>200</b>	0,036	0,003	<b>0,036</b>
<b>250</b>	0,070	0,003	<b>0,070</b>
<b>315</b>	0,052	0,003	<b>0,053</b>
<b>400</b>	0,037	0,003	<b>0,037</b>
<b>500</b>	0,051	0,003	<b>0,051</b>
<b>630</b>	0,040	0,003	<b>0,040</b>
<b>800</b>	0,013	0,003	<b>0,014</b>
<b>1000</b>	0,037	0,003	<b>0,037</b>
<b>1250</b>	0,041	0,003	<b>0,041</b>
<b>1600</b>	0,027	0,003	<b>0,027</b>
<b>2000</b>	0,027	0,003	<b>0,027</b>
<b>2500</b>	0,017	0,003	<b>0,017</b>
<b>3150</b>	0,030	0,003	<b>0,030</b>
<b>4000</b>	0,024	0,003	<b>0,025</b>
<b>5000</b>	0,018	0,003	<b>0,018</b>

Tabla. LXXV. Incertidumbre combinada del tiempo de reverberación para el silenciador tipo 100-200.

Para el conducto de sustitución, la incertidumbre combinada del tiempo de reverberación se presenta en la tabla LXXVI junto con los valores obtenidos de las incertidumbres típicas de tipo A y B.

<b>Incertidumbres típicas y combinada de la medida del Tiempo de Reverberación TR</b>			
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Tipo A</b>	<b>Tipo B (Resol.)</b>	<b>I.combinada (UcTR)</b>
<b>50</b>	0,368	0,003	<b>0,368</b>
<b>63</b>	0,247	0,003	<b>0,247</b>
<b>80</b>	0,178	0,003	<b>0,178</b>
<b>100</b>	0,210	0,003	<b>0,210</b>
<b>125</b>	0,110	0,003	<b>0,110</b>
<b>160</b>	0,051	0,003	<b>0,051</b>
<b>200</b>	0,048	0,003	<b>0,048</b>
<b>250</b>	0,071	0,003	<b>0,071</b>
<b>315</b>	0,066	0,003	<b>0,066</b>
<b>400</b>	0,034	0,003	<b>0,035</b>
<b>500</b>	0,037	0,003	<b>0,037</b>
<b>630</b>	0,039	0,003	<b>0,039</b>
<b>800</b>	0,020	0,003	<b>0,020</b>
<b>1000</b>	0,014	0,003	<b>0,014</b>
<b>1250</b>	0,035	0,003	<b>0,035</b>
<b>1600</b>	0,011	0,003	<b>0,011</b>
<b>2000</b>	0,019	0,003	<b>0,019</b>
<b>2500</b>	0,016	0,003	<b>0,016</b>
<b>3150</b>	0,018	0,003	<b>0,018</b>
<b>4000</b>	0,017	0,003	<b>0,017</b>
<b>5000</b>	0,014	0,003	<b>0,014</b>

Tabla. LXXVI. Incertidumbre combinada del tiempo de reverberación para el conducto en el ensayo del silenciador tipo 100-200.

Por último calculamos la incertidumbre de medida de las pérdidas por inserción previo cálculo de las sensibilidades.

Para el nivel de presión de ruido recibido con silenciador y con conducto el coeficiente de sensibilidad de ambos es 1, para el tiempo de reverberación es la derivada del nivel de presión correspondiente respecto del tiempo de reverberación. Para el caso del tiempo de reverberación quedaría definido mediante la ecuación 50 y análogamente se realizaría en el caso del conducto insertado:

$$\frac{\partial L_{II}}{\partial T} = \frac{0,16}{4*201} * \frac{4,34}{T} \quad (50)$$

Por lo tanto el coeficiente de sensibilidad del tiempo de reverberación con silenciador y con conducto, sería el que se muestra en la tabla LXXVII.

Ensayo silenciador tipo 100-200		
Frecuencia [Hz]	Con silenciador	Con conducto
	sensibilidad TR (Ucs2)	sensibilidad TR (Ucs1)
50	0,0003	0,0004
63	0,0002	0,0002
80	0,0005	0,0004
100	0,0004	0,0005
125	0,0004	0,0004
160	0,0005	0,0005
200	0,0005	0,0005
250	0,0005	0,0005
315	0,0005	0,0005
400	0,0005	0,0005
500	0,0005	0,0005
630	0,0005	0,0005
800	0,0005	0,0005
1000	0,0005	0,0004
1250	0,0004	0,0004
1600	0,0005	0,0005
2000	0,0005	0,0005
2500	0,0005	0,0005
3150	0,0005	0,0006
4000	0,0006	0,0006
5000	0,0007	0,0008

Tabla. LXXVII. Coeficientes de sensibilidad del tiempo de reverberación para el silenciador tipo 100-200 y conducto de sustitución.

Y la incertidumbre combinada para las pérdidas por inserción del silenciador tipo 100-200 sería la representada en la tabla LXXVIII.

Incertidumbre combinada de las Pérdidas por inserción para silenciador tipo 100-200									
Fr [Hz]	Conducto		Silenciador		Conducto		Silenciador		I.combinada Dis
	Sensib. ( $U_{C_{L1}}$ )	I.comb. ( $U_{C_{L1}}$ )	Sensib. ( $U_{C_{L2}}$ )	I.comb. ( $U_{C_{L2}}$ )	I.comb. ( $U_{C_{TR}}$ )	Sensib. ( $U_{C_{S1}}$ )	I.comb. ( $U_{C_{TR}}$ )	Sensib. ( $U_{C_{TR}}$ )	
50	1	2,88	1	2,74	0,368	0,00035	0,512	0,00028	<b>3,97</b>
63	1	0,96	1	1,04	0,247	0,00024	0,280	0,00025	<b>1,41</b>
80	1	1,28	1	1,35	0,178	0,00041	0,297	0,00054	<b>1,86</b>
100	1	1,14	1	1,37	0,210	0,00048	0,108	0,00044	<b>1,78</b>
125	1	1,87	1	1,99	0,110	0,00043	0,125	0,00044	<b>2,73</b>
160	1	1,54	1	1,87	0,051	0,00045	0,072	0,00046	<b>2,42</b>
200	1	1,02	1	1,06	0,048	0,00053	0,036	0,00052	<b>1,47</b>
250	1	1,25	1	1,14	0,071	0,00049	0,070	0,00049	<b>1,69</b>
315	1	1,03	1	1,08	0,066	0,00046	0,053	0,00047	<b>1,50</b>
400	1	0,87	1	1,10	0,035	0,00049	0,037	0,00049	<b>1,40</b>
500	1	1,09	1	1,07	0,037	0,00048	0,051	0,00047	<b>1,53</b>
630	1	0,81	1	0,98	0,039	0,00045	0,040	0,00046	<b>1,27</b>
800	1	1,24	1	1,26	0,020	0,00045	0,014	0,00046	<b>1,76</b>
1000	1	0,71	1	0,70	0,014	0,00045	0,037	0,00045	<b>0,99</b>
1250	1	0,53	1	0,79	0,035	0,00045	0,041	0,00045	<b>0,95</b>
1600	1	0,82	1	0,65	0,011	0,00046	0,027	0,00045	<b>1,04</b>
2000	1	1,02	1	0,87	0,019	0,00047	0,027	0,00047	<b>1,34</b>
2500	1	1,16	1	0,51	0,016	0,00050	0,017	0,00050	<b>1,26</b>
3150	1	1,04	1	0,83	0,018	0,00055	0,030	0,00054	<b>1,33</b>
4000	1	1,14	1	1,21	0,017	0,00063	0,025	0,00061	<b>1,66</b>
5000	1	1,35	1	1,03	0,014	0,00078	0,018	0,00073	<b>1,70</b>

Tabla. LXXVIII. Incertidumbre combinada de las pérdidas por inserción del silenciador tipo 100-200.



La incertidumbre expandida para las pérdidas por inserción del silenciador tipo 100-200 considerando el mismo coeficiente de seguridad que el que se contempló para el cálculo de la incertidumbre del aislamiento a ruido aéreo donde  $K = 2$  y por tanto vendría dada en la tabla LXXIX.

<b>I. expandida de las Pérdidas por inserción para silenciador tipo 100-200</b>	
<b>Hz</b>	<b>I. expandida (UD<sub>DIS</sub>)</b>
50	7,9
63	2,8
80	3,7
100	3,6
125	5,5
160	4,8
200	2,9
250	3,4
315	3,0
400	2,8
500	3,1
630	2,5
800	3,5
1000	2,0
1250	1,9
1600	2,1
2000	2,7
2500	2,5
3150	2,7
4000	3,3
5000	3,4

Tabla. LXXIX. Incertidumbre expandida de las pérdidas por inserción del silenciador tipo 100-200.

Por lo tanto las pérdidas por inserción y su incertidumbre para el silenciador tipo 100-200 se muestran en la tabla LXXX.

<b>Incertidumbre de las Pérdidas por inserción para silenciador tipo 100-200</b>		
<b>Hz</b>	<b>Dis</b>	<b>I. expandida (U<sub>DIS</sub>)</b>
50	5,4	7,9
63	4,0	2,8
80	3,9	3,7
100	6,0	3,6
125	9,2	5,5
160	10,6	4,8
200	15,5	2,9
250	20,8	3,4
315	19,9	3,0
400	19,6	2,8
500	23,5	3,1
630	24,8	2,5
800	29,0	3,5
1000	31,2	2,0
1250	32,9	1,9
1600	38,4	2,1
2000	42,1	2,7
2500	43,8	2,5
3150	40,0	2,7
4000	35,2	3,3
5000	27,2	3,4

Tabla. LXXX. Pérdidas por inserción del silenciador tipo 100-200 y su incertidumbre.

### 8.2.3.2 Incertidumbre de las pérdidas por inserción el silenciador tipo 150-200 de 700 x 600 x 900 mm.

Realizamos las mismas operaciones para el cálculo de la incertidumbre de las pérdidas por inserción del silenciador tipo 150-200, teniendo en cuenta, en este caso, que el nivel de presión recibido no se ve afectado por el ruido de fondo.

La tabla LXXXI muestra los valores de las incertidumbres típicas y combinada del nivel de presión recibida con el silenciador tipo 150-200 insertado en el sistema.

<b>Incertidumbre típica de la medida del Nivel medio de presión sonora recibido con silenciador 150-200 <math>L_{is}</math> y su incertidumbre combinada</b>					
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Tipo A</b>	<b>Tipo B (Calib.)</b>	<b>Tipo B (Resol.)</b>	<b>Tipo B (Deriv.)</b>	<b>I.combinada (<math>U_{CL1}</math>)</b>
<b>50</b>	3,00	0,10	0,03	0,16	<b>3,01</b>
<b>63</b>	0,71	0,10	0,03	0,16	<b>0,74</b>
<b>80</b>	1,28	0,10	0,03	0,16	<b>1,30</b>
<b>100</b>	1,37	0,10	0,03	0,16	<b>1,38</b>
<b>125</b>	1,70	0,10	0,03	0,16	<b>1,71</b>
<b>160</b>	1,79	0,10	0,03	0,16	<b>1,80</b>
<b>200</b>	0,97	0,10	0,03	0,16	<b>0,99</b>
<b>250</b>	1,08	0,10	0,03	0,16	<b>1,09</b>
<b>315</b>	1,16	0,10	0,03	0,16	<b>1,17</b>
<b>400</b>	0,97	0,10	0,03	0,16	<b>0,99</b>
<b>500</b>	1,04	0,10	0,03	0,16	<b>1,05</b>
<b>630</b>	0,99	0,10	0,03	0,16	<b>1,01</b>
<b>800</b>	1,15	0,10	0,03	0,16	<b>1,16</b>
<b>1000</b>	0,77	0,08	0,03	0,16	<b>0,79</b>
<b>1250</b>	0,65	0,10	0,03	0,16	<b>0,68</b>
<b>1600</b>	0,45	0,10	0,03	0,16	<b>0,49</b>
<b>2000</b>	0,52	0,10	0,03	0,16	<b>0,55</b>
<b>2500</b>	0,76	0,10	0,03	0,16	<b>0,78</b>
<b>3150</b>	1,17	0,10	0,03	0,16	<b>1,19</b>
<b>4000</b>	1,01	0,10	0,03	0,16	<b>1,03</b>
<b>5000</b>	1,73	0,10	0,03	0,16	<b>1,74</b>

Tabla. LXXXI. Incertidumbre típica y combinada del nivel de presión recibido para silenciador tipo 150-200.

En la tabla LXXXII se muestran los valores obtenidos de los cálculos de incertidumbres típica y combinada del nivel de presión recibida con el conducto de sustitución insertado en la medida del silenciador tipo 150-200.

<b>Incertidumbre típica de la medida del Nivel medio de presión sonora recibido con conducto de sustitución LIIc y su incertidumbre combinada</b>					
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Tipo A</b>	<b>Tipo B (Calib.)</b>	<b>Tipo B (Resol.)</b>	<b>Tipo B (Deriv.)</b>	<b>I.combinada (U<sub>CL1</sub>)</b>
<b>50</b>	3,09	0,10	0,03	0,16	<b>3,10</b>
<b>63</b>	0,88	0,10	0,03	0,16	<b>0,90</b>
<b>80</b>	1,24	0,10	0,03	0,16	<b>1,25</b>
<b>100</b>	1,13	0,10	0,03	0,16	<b>1,15</b>
<b>125</b>	1,67	0,10	0,03	0,16	<b>1,68</b>
<b>160</b>	1,47	0,10	0,03	0,16	<b>1,48</b>
<b>200</b>	0,98	0,10	0,03	0,16	<b>1,00</b>
<b>250</b>	1,03	0,10	0,03	0,16	<b>1,04</b>
<b>315</b>	1,08	0,10	0,03	0,16	<b>1,09</b>
<b>400</b>	0,88	0,10	0,03	0,16	<b>0,90</b>
<b>500</b>	1,02	0,10	0,03	0,16	<b>1,04</b>
<b>630</b>	0,79	0,10	0,03	0,16	<b>0,82</b>
<b>800</b>	1,31	0,10	0,03	0,16	<b>1,32</b>
<b>1000</b>	0,62	0,08	0,03	0,16	<b>0,64</b>
<b>1250</b>	0,49	0,10	0,03	0,16	<b>0,52</b>
<b>1600</b>	0,77	0,10	0,03	0,16	<b>0,79</b>
<b>2000</b>	0,96	0,10	0,03	0,16	<b>0,98</b>
<b>2500</b>	1,13	0,10	0,03	0,16	<b>1,15</b>
<b>3150</b>	0,99	0,10	0,03	0,16	<b>1,01</b>
<b>4000</b>	1,16	0,10	0,03	0,16	<b>1,17</b>
<b>5000</b>	1,36	0,10	0,03	0,16	<b>1,38</b>

Tabla. LXXXII. Incertidumbre típica y combinada del nivel de presión recibido con conducto en medición del silenciador tipo 150-200.

Los valores de los cálculos de la incertidumbre típica y combinada para el silenciador 150-200 insertado en el sistema, se muestran en la tabla LXXXIII.

<b>Incertidumbre de la medida del Tiempo de Reverberación TR</b>			
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Tipo A</b>	<b>Tipo B (Resol.)</b>	<b>I.combinada (U<sub>C<sub>TR</sub></sub>)</b>
<b>50</b>	0,197	0,003	<b>0,197</b>
<b>63</b>	0,183	0,003	<b>0,183</b>
<b>80</b>	0,267	0,003	<b>0,267</b>
<b>100</b>	0,107	0,003	<b>0,107</b>
<b>125</b>	0,132	0,003	<b>0,132</b>
<b>160</b>	0,028	0,003	<b>0,029</b>
<b>200</b>	0,051	0,003	<b>0,051</b>
<b>250</b>	0,072	0,003	<b>0,072</b>
<b>315</b>	0,044	0,003	<b>0,044</b>
<b>400</b>	0,028	0,003	<b>0,028</b>
<b>500</b>	0,039	0,003	<b>0,039</b>
<b>630</b>	0,032	0,003	<b>0,032</b>
<b>800</b>	0,038	0,003	<b>0,038</b>
<b>1000</b>	0,031	0,003	<b>0,031</b>
<b>1250</b>	0,032	0,003	<b>0,033</b>
<b>1600</b>	0,024	0,003	<b>0,025</b>
<b>2000</b>	0,026	0,003	<b>0,026</b>
<b>2500</b>	0,007	0,003	<b>0,007</b>
<b>3150</b>	0,020	0,003	<b>0,020</b>
<b>4000</b>	0,018	0,003	<b>0,018</b>
<b>5000</b>	0,014	0,003	<b>0,014</b>

Tabla. LXXXIII. Incertidumbre típica y combinada del tiempo de reverberación para silenciador tipo 150-200.

Para el conducto de sustitución insertado en el sistema en el ensayo del silenciador tipo 150-200 las incertidumbre típicas y combinada del tiempo de reverberación se presentan en la tabla LXXXIV.

<b>Incertidumbre de la medida del Tiempo de Reverberación TR</b>			
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Tipo A</b>	<b>Tipo B (Resol.)</b>	<b>I.combinada (U<sub>C-TR</sub>)</b>
<b>50</b>	0,416	0,003	<b>0,416</b>
<b>63</b>	0,278	0,003	<b>0,278</b>
<b>80</b>	0,169	0,003	<b>0,169</b>
<b>100</b>	0,201	0,003	<b>0,201</b>
<b>125</b>	0,111	0,003	<b>0,111</b>
<b>160</b>	0,054	0,003	<b>0,054</b>
<b>200</b>	0,049	0,003	<b>0,049</b>
<b>250</b>	0,064	0,003	<b>0,064</b>
<b>315</b>	0,065	0,003	<b>0,065</b>
<b>400</b>	0,035	0,003	<b>0,035</b>
<b>500</b>	0,036	0,003	<b>0,037</b>
<b>630</b>	0,039	0,003	<b>0,039</b>
<b>800</b>	0,014	0,003	<b>0,015</b>
<b>1000</b>	0,022	0,003	<b>0,022</b>
<b>1250</b>	0,041	0,003	<b>0,041</b>
<b>1600</b>	0,009	0,003	<b>0,010</b>
<b>2000</b>	0,020	0,003	<b>0,020</b>
<b>2500</b>	0,018	0,003	<b>0,018</b>
<b>3150</b>	0,015	0,003	<b>0,015</b>
<b>4000</b>	0,011	0,003	<b>0,011</b>
<b>5000</b>	0,010	0,003	<b>0,010</b>

Tabla. LXXXIV. Incertidumbre típica y combinada del tiempo de reverberación con el conducto de sustitución en la medida del ensayo del silenciador tipo 150-200.

La incertidumbre combinada de las pérdidas por inserción para el silenciador tipo 150-200 son las que muestra la tabla LXXXV

Incertidumbre combinada de las Pérdidas por inserción para silenciador tipo 150-200									
Fr [Hz]	Conducto		Silenciador		Conducto		Silenciador		I.combinada Dis
	Sensib. (U <sub>C1</sub> )	I.comb. (U <sub>C1</sub> )	Sensib (U <sub>C2</sub> )	I.comb. (U <sub>C2</sub> )	I.comb. (U <sub>C<sub>TR</sub></sub> )	Sensib. (U <sub>Cs1</sub> )	I.comb. (U <sub>C<sub>TR</sub></sub> )	Sensib. (U <sub>C<sub>TR</sub></sub> )	
50	1	3,10	1	3,01	0,416	0,00035	0,197	0,00032	4,32
63	1	0,90	1	0,74	0,278	0,00024	0,183	0,00025	1,17
80	1	1,25	1	1,30	0,169	0,00041	0,267	0,00049	1,80
100	1	1,15	1	1,38	0,201	0,00048	0,107	0,00045	1,80
125	1	1,68	1	1,71	0,111	0,00043	0,132	0,00044	2,40
160	1	1,48	1	1,80	0,054	0,00045	0,029	0,00045	2,33
200	1	1,00	1	0,99	0,049	0,00053	0,051	0,00054	1,40
250	1	1,04	1	1,09	0,064	0,00049	0,072	0,00050	1,51
315	1	1,09	1	1,17	0,065	0,00046	0,044	0,00046	1,60
400	1	0,90	1	0,99	0,035	0,00049	0,028	0,00050	1,34
500	1	1,04	1	1,05	0,037	0,00048	0,039	0,00048	1,48
630	1	0,82	1	1,01	0,039	0,00045	0,032	0,00046	1,30
800	1	1,32	1	1,16	0,015	0,00045	0,038	0,00046	1,76
1000	1	0,64	1	0,79	0,022	0,00045	0,031	0,00045	1,02
1250	1	0,52	1	0,68	0,041	0,00045	0,033	0,00044	0,86
1600	1	0,79	1	0,49	0,010	0,00046	0,025	0,00046	0,93
2000	1	0,98	1	0,55	0,020	0,00047	0,026	0,00047	1,12
2500	1	1,15	1	0,78	0,018	0,00050	0,007	0,00050	1,39
3150	1	1,01	1	1,19	0,015	0,00055	0,020	0,00055	1,56
4000	1	1,17	1	1,03	0,011	0,00063	0,018	0,00062	1,56
5000	1	1,38	1	1,74	0,010	0,00078	0,014	0,00076	2,22

Tabla. LXXXV. Incertidumbre combinada de las pérdidas por inserción del silenciador tipo 150-200.

La tabla LXXXVI presenta la incertidumbre expandida de las pérdidas por inserción para el silenciador 150-200.

<b>I. expandida de las Pérdidas por inserción para silenciador tipo 150-200</b>	
<b>Hz</b>	<b>I. expandida (U<sub>DIS</sub>)</b>
50	8,6
63	2,3
80	3,6
100	3,6
125	4,8
160	4,7
200	2,8
250	3,0
315	3,2
400	2,7
500	3,0
630	2,6
800	3,5
1000	2,0
1250	1,7
1600	1,9
2000	2,2
2500	2,8
3150	3,1
4000	3,1
5000	4,4

Tabla. LXXXVI. Incertidumbre expandida de las pérdidas por inserción del silenciador tipo 150-200.



Las pérdidas por inserción y su incertidumbre para el silenciador tipo 150-200 son los que se muestran en la tabla LXXXVII.

<b>Incertidumbre de las Pérdidas por inserción para silenciador tipo 150-200</b>		
<b>Hz</b>	<b>Dis</b>	<b>I. expandida (U<sub>DIS</sub>)</b>
50	3,5	8,6
63	2,5	2,3
80	4,8	3,6
100	5,4	3,6
125	5,2	4,8
160	7,3	4,7
200	10,7	2,8
250	13,6	3,0
315	13,6	3,2
400	14,4	2,7
500	16,4	3,0
630	17,8	2,6
800	20,7	3,5
1000	22,3	2,0
1250	25,6	1,7
1600	29,6	1,9
2000	30,8	2,2
2500	29,4	2,8
3150	24,5	3,1
4000	19,0	3,1
5000	9,9	4,4

Tabla. LXXXVII. Pérdidas por inserción del silenciador tipo 100-200 y su incertidumbre.

### 8.2.3.2 Incertidumbre de las pérdidas por inserción del silenciador tipo 200-200 de 800 x 600 x 900 mm.

Operamos de la misma forma para la valoración de la incertidumbre de las pérdidas por inserción del silenciador tipo 200-200, tampoco en este caso, el nivel de presión recibido se ve afectado por el ruido de fondo.

La tabla LXXXVIII muestra los valores de las incertidumbres típicas y combinada del nivel de presión recibida con el silenciador tipo 200-200 insertado en el sistema.

<b>Incertidumbre típica de la medida del Nivel medio de presión sonora recibido con silenciador 200-200 Lis y su incertidumbre combinada</b>					
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Tipo A</b>	<b>Tipo B (Calib.)</b>	<b>Tipo B (Resol.)</b>	<b>Tipo B (Deriv.)</b>	<b>I.combinada (U<sub>CL1</sub>)</b>
<b>50</b>	3,20	0,10	0,03	0,16	<b>3,20</b>
<b>63</b>	0,86	0,10	0,03	0,16	<b>0,88</b>
<b>80</b>	1,09	0,10	0,03	0,16	<b>1,11</b>
<b>100</b>	1,10	0,10	0,03	0,16	<b>1,11</b>
<b>125</b>	2,03	0,10	0,03	0,16	<b>2,03</b>
<b>160</b>	2,08	0,10	0,03	0,16	<b>2,09</b>
<b>200</b>	0,91	0,10	0,03	0,16	<b>0,93</b>
<b>250</b>	1,08	0,10	0,03	0,16	<b>1,09</b>
<b>315</b>	1,23	0,10	0,03	0,16	<b>1,25</b>
<b>400</b>	1,04	0,10	0,03	0,16	<b>1,05</b>
<b>500</b>	1,05	0,10	0,03	0,16	<b>1,07</b>
<b>630</b>	1,10	0,10	0,03	0,16	<b>1,11</b>
<b>800</b>	1,16	0,10	0,03	0,16	<b>1,17</b>
<b>1000</b>	0,90	0,08	0,03	0,16	<b>0,92</b>
<b>1250</b>	0,61	0,10	0,03	0,16	<b>0,64</b>
<b>1600</b>	0,51	0,10	0,03	0,16	<b>0,54</b>
<b>2000</b>	0,59	0,10	0,03	0,16	<b>0,62</b>
<b>2500</b>	1,21	0,10	0,03	0,16	<b>1,23</b>
<b>3150</b>	1,66	0,10	0,03	0,16	<b>1,67</b>
<b>4000</b>	1,39	0,10	0,03	0,16	<b>1,41</b>
<b>5000</b>	1,89	0,10	0,03	0,16	<b>1,90</b>

Tabla. LXXXVIII. Incertidumbre típica y combinada del nivel de presión recibido para silenciador tipo 150-200.

En la tabla LXXXIX se muestran los valores de la incertidumbre típica y combinada del nivel de presión recibido con conducto de sustitución en ensayo de silenciador tipo 200-200.

<b>Incertidumbre de la medida del Nivel medio de presión sonora recibido con conducto de sustitución LIIc y su incertidumbre combinada</b>					
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Tipo A</b>	<b>Tipo B (Calib.)</b>	<b>Tipo B (Resol.)</b>	<b>Tipo B (Deriv.)</b>	<b>I.combinada (U<sub>CL1</sub>)</b>
<b>50</b>	3,36	0,10	0,03	0,16	<b>3,36</b>
<b>63</b>	0,86	0,10	0,03	0,16	<b>0,88</b>
<b>80</b>	1,31	0,10	0,03	0,16	<b>1,32</b>
<b>100</b>	1,16	0,10	0,03	0,16	<b>1,18</b>
<b>125</b>	1,50	0,10	0,03	0,16	<b>1,51</b>
<b>160</b>	1,42	0,10	0,03	0,16	<b>1,44</b>
<b>200</b>	0,99	0,10	0,03	0,16	<b>1,01</b>
<b>250</b>	1,03	0,10	0,03	0,16	<b>1,05</b>
<b>315</b>	1,14	0,10	0,03	0,16	<b>1,16</b>
<b>400</b>	0,92	0,10	0,03	0,16	<b>0,94</b>
<b>500</b>	1,06	0,10	0,03	0,16	<b>1,08</b>
<b>630</b>	0,84	0,10	0,03	0,16	<b>0,86</b>
<b>800</b>	1,40	0,10	0,03	0,16	<b>1,41</b>
<b>1000</b>	0,57	0,08	0,03	0,16	<b>0,60</b>
<b>1250</b>	0,49	0,10	0,03	0,16	<b>0,53</b>
<b>1600</b>	0,76	0,10	0,03	0,16	<b>0,78</b>
<b>2000</b>	0,93	0,10	0,03	0,16	<b>0,95</b>
<b>2500</b>	1,13	0,10	0,03	0,16	<b>1,15</b>
<b>3150</b>	0,97	0,10	0,03	0,16	<b>0,98</b>
<b>4000</b>	1,21	0,10	0,03	0,16	<b>1,22</b>
<b>5000</b>	1,40	0,10	0,03	0,16	<b>1,41</b>

Tabla. LXXXIX. Incertidumbre típica y combinada del nivel de presión recibido con conducto en medición del silenciador tipo 200-200.

La incertidumbre típica y combinada del tiempo de reverberación para el silenciador tipo 200-200 insertado en el sistema se presenta en la tabla XC

<b>Incertidumbre típica de la medida del Tiempo de Reverberación TR con silenciador tipo 200-200 y su incertidumbre combinada.</b>			
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Tipo A</b>	<b>Tipo B (Resol.)</b>	<b>I.combinada (<math>U_{CTR}</math>)</b>
<b>50</b>	0,433	0,003	<b>0,433</b>
<b>63</b>	0,322	0,003	<b>0,322</b>
<b>80</b>	0,285	0,003	<b>0,285</b>
<b>100</b>	0,103	0,003	<b>0,103</b>
<b>125</b>	0,108	0,003	<b>0,108</b>
<b>160</b>	0,054	0,003	<b>0,054</b>
<b>200</b>	0,054	0,003	<b>0,054</b>
<b>250</b>	0,072	0,003	<b>0,072</b>
<b>315</b>	0,032	0,003	<b>0,032</b>
<b>400</b>	0,038	0,003	<b>0,038</b>
<b>500</b>	0,035	0,003	<b>0,035</b>
<b>630</b>	0,034	0,003	<b>0,034</b>
<b>800</b>	0,036	0,003	<b>0,036</b>
<b>1000</b>	0,035	0,003	<b>0,035</b>
<b>1250</b>	0,059	0,003	<b>0,059</b>
<b>1600</b>	0,028	0,003	<b>0,029</b>
<b>2000</b>	0,025	0,003	<b>0,025</b>
<b>2500</b>	0,022	0,003	<b>0,022</b>
<b>3150</b>	0,013	0,003	<b>0,014</b>
<b>4000</b>	0,011	0,003	<b>0,011</b>
<b>5000</b>	0,021	0,003	<b>0,022</b>

Tabla. XC. Incertidumbre típica y combinada del tiempo de reverberación para silenciador tipo 200-200.

Los valores calculados de incertidumbre para el tiempo de reverberación con el conducto de sustitución son los que muestra la tabla XCI.

<b>Incertidumbre típica de la medida del Tiempo de Reverberación TR con conducto de sustitución y su incertidumbre combinada</b>			
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Tipo A</b>	<b>Tipo B (Resol.)</b>	<b>I.combinada (<math>U_{C_{TR}}</math>)</b>
<b>50</b>	0,519	0,003	<b>0,519</b>
<b>63</b>	0,322	0,003	<b>0,322</b>
<b>80</b>	0,260	0,003	<b>0,260</b>
<b>100</b>	0,205	0,003	<b>0,205</b>
<b>125</b>	0,112	0,003	<b>0,112</b>
<b>160</b>	0,076	0,003	<b>0,076</b>
<b>200</b>	0,052	0,003	<b>0,052</b>
<b>250</b>	0,072	0,003	<b>0,072</b>
<b>315</b>	0,070	0,003	<b>0,070</b>
<b>400</b>	0,038	0,003	<b>0,038</b>
<b>500</b>	0,039	0,003	<b>0,039</b>
<b>630</b>	0,041	0,003	<b>0,041</b>
<b>800</b>	0,014	0,003	<b>0,014</b>
<b>1000</b>	0,031	0,003	<b>0,031</b>
<b>1250</b>	0,051	0,003	<b>0,051</b>
<b>1600</b>	0,015	0,003	<b>0,016</b>
<b>2000</b>	0,034	0,003	<b>0,034</b>
<b>2500</b>	0,023	0,003	<b>0,023</b>
<b>3150</b>	0,016	0,003	<b>0,016</b>
<b>4000</b>	0,006	0,003	<b>0,006</b>
<b>5000</b>	0,010	0,003	<b>0,011</b>

Tabla. XCI. Incertidumbre típica y combinada del tiempo de reverberación para conducto de sustitución en ensayo de silenciador tipo 200-200.

La incertidumbre combinada de las pérdidas por inserción para el silenciador tipo 200-200 se muestra en la tabla XCII

Incertidumbre combinada de las Pérdidas por inserción para silenciador tipo 200-200									
Fr [Hz]	Conducto		Silenciador		Conducto		Silenciador		I.combinada Dis
	Sensib. (U <sub>C1</sub> )	I.comb. (U <sub>C1</sub> )	Sensib (U <sub>C2</sub> )	I.comb. (U <sub>C2</sub> )	I.comb. (U <sub>C<sub>TR</sub></sub> )	Sensib. (U <sub>Cs1</sub> )	I.comb. (U <sub>C<sub>TR</sub></sub> )	Sensib. (U <sub>C<sub>TR</sub></sub> )	
50	1	3,36	1	3,20	0,519	0,00035	0,433	0,00042	4,64
63	1	0,88	1	0,88	0,322	0,00024	0,322	0,00026	1,24
80	1	1,32	1	1,11	0,260	0,00041	0,285	0,00053	1,73
100	1	1,18	1	1,11	0,205	0,00048	0,103	0,00045	1,62
125	1	1,51	1	2,03	0,112	0,00043	0,108	0,00045	2,53
160	1	1,44	1	2,09	0,076	0,00045	0,054	0,00045	2,53
200	1	1,01	1	0,93	0,052	0,00053	0,054	0,00054	1,37
250	1	1,05	1	1,09	0,072	0,00049	0,072	0,00051	1,52
315	1	1,16	1	1,25	0,070	0,00046	0,032	0,00047	1,70
400	1	0,94	1	1,05	0,038	0,00049	0,038	0,00051	1,41
500	1	1,08	1	1,07	0,039	0,00048	0,035	0,00049	1,52
630	1	0,86	1	1,11	0,041	0,00045	0,034	0,00047	1,41
800	1	1,41	1	1,17	0,014	0,00045	0,036	0,00046	1,84
1000	1	0,60	1	0,92	0,031	0,00045	0,035	0,00046	1,10
1250	1	0,53	1	0,64	0,051	0,00045	0,059	0,00045	0,83
1600	1	0,78	1	0,54	0,016	0,00046	0,029	0,00046	0,95
2000	1	0,95	1	0,62	0,034	0,00047	0,025	0,00047	1,13
2500	1	1,15	1	1,23	0,023	0,00050	0,022	0,00050	1,68
3150	1	0,98	1	1,67	0,016	0,00055	0,014	0,00054	1,94
4000	1	1,22	1	1,41	0,006	0,00063	0,011	0,00060	1,87
5000	1	1,41	1	1,90	0,011	0,00078	0,022	0,00072	2,37

Tabla. XCII. Incertidumbre combinada de las pérdidas por inserción para silenciador tipo 200-200.

La incertidumbre expandida para las pérdidas por inserción del silenciador tipo 200-200 ensayado se presentan en la tabla XCIII

<b>I. expandida de las Pérdidas por inserción para silenciador tipo 200-200</b>	
<b>Hz</b>	<b>I. expandida (<math>U_{DIS}</math>)</b>
<b>50</b>	<b>9,3</b>
<b>63</b>	<b>2,5</b>
<b>80</b>	<b>3,4</b>
<b>100</b>	<b>3,2</b>
<b>125</b>	<b>5,1</b>
<b>160</b>	<b>5,1</b>
<b>200</b>	<b>2,7</b>
<b>250</b>	<b>3,0</b>
<b>315</b>	<b>3,4</b>
<b>400</b>	<b>2,8</b>
<b>500</b>	<b>3,0</b>
<b>630</b>	<b>2,8</b>
<b>800</b>	<b>3,7</b>
<b>1000</b>	<b>2,2</b>
<b>1250</b>	<b>1,7</b>
<b>1600</b>	<b>1,9</b>
<b>2000</b>	<b>2,3</b>
<b>2500</b>	<b>3,4</b>
<b>3150</b>	<b>3,9</b>
<b>4000</b>	<b>3,7</b>
<b>5000</b>	<b>4,7</b>

Tabla. XCIII. Incertidumbre expandida de las pérdidas por inserción de la medida del silenciador tipo 200-200.

La tabla XCIV muestra por tanto las pérdidas por inserción del silenciador tipo 200-200 ensayado así como su incertidumbre.

<b>Incertidumbre de las Pérdidas por inserción para silenciador tipo 200-200</b>		
<b>Hz</b>	<b>Dis</b>	<b>I. expandida (U<sub>DIS</sub>)</b>
50	2,2	9,3
63	2,7	2,5
80	2,6	3,4
100	3,8	3,2
125	2,7	5,1
160	4,3	5,1
200	8,4	2,7
250	10,5	3,0
315	10,7	3,4
400	11,1	2,8
500	12,7	3,0
630	14,6	2,8
800	17,5	3,7
1000	17,6	2,2
1250	21,1	1,7
1600	25,6	1,9
2000	25,1	2,3
2500	19,2	3,4
3150	13,4	3,9
4000	11,5	3,7
5000	6,0	4,7

Tabla. XCIV. Pérdidas por inserción e incertidumbre del silenciador tipo 200-200.



### 8.3. Cálculo de la atenuación por conductos forrados.

Se considera conducto forrado a un tubo en el que al menos una superficie de su interior está cubierta con un material acústico poroso y las atenuaciones que este provoca son consecuencia del material del forro interior.

Por facilidad de cálculo se considera que las ondas sonoras viajan sólo en la dirección paralela al eje longitudinal del conducto.

Consideramos el silenciador objeto del ensayo como un conducto forrado y calculamos su atenuación introduciendo en el eje de abscisas, de la figura 57, la relación existente entre el paso libre de un módulo y la longitud de onda del sonido en el aire a la temperatura de flujo que circula por el conducto. Estos valores facilitan la atenuación en el eje de ordenadas mediante la curva que indica su porcentaje de área abierta con respecto al total de la sección.

Se define, lo primero, el porcentaje de apertura con respecto al total mediante la expresión de la ecuación 51:

$$\% \Delta l_y = (l_y / l) \quad (51)$$

Siendo:

$l_y$  es el paso libre de aire

$l$  es el módulo del silenciador

Posteriormente se calcula la relación entre el paso libre y la longitud de onda a la temperatura en la que fluye el aire por el conducto mediante la ecuación 52, sabiendo que la longitud de onda viene dada por la expresión de la ecuación 53:

$$l_y / \lambda \quad (52)$$

$$\lambda = \frac{345}{f} * \sqrt{\frac{\theta_c + 273}{295}} \quad (53)$$

Donde:

$\lambda$  es la longitud de onda

$\theta_c$  es la temperatura del fluido que atraviesa el conducto forrado

$f$  es la frecuencia

Con estos datos obtenemos de la gráfica representada en la fig. 57, la atenuación  $\Delta l_y$  por frecuencias en función del porcentaje de abertura de aire con respecto al ancho del módulo.

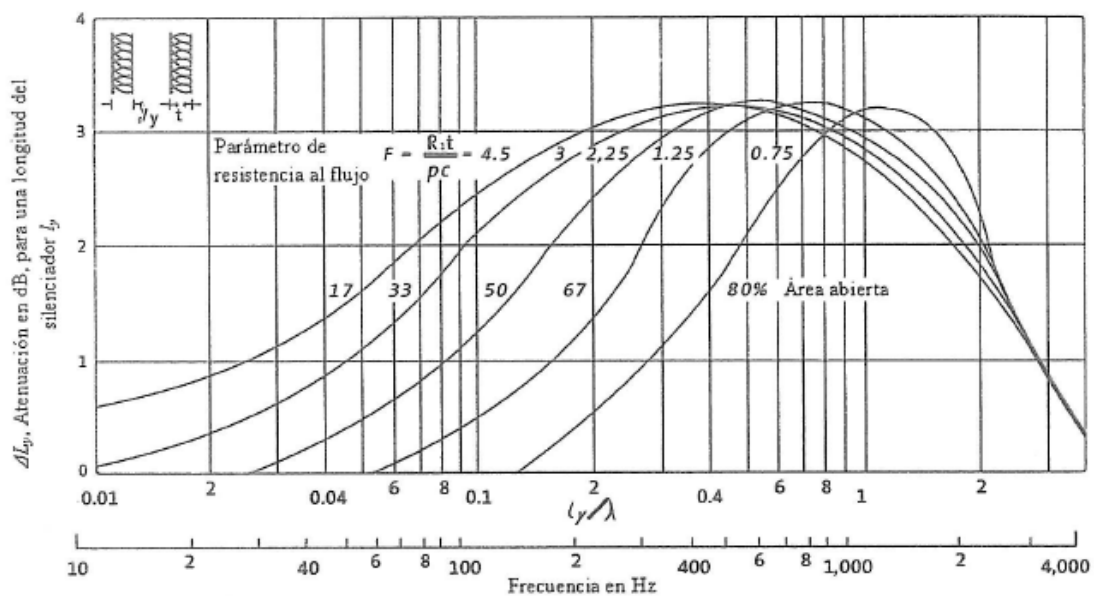


Figura 57. Gráfica para la obtención de la atenuación por conductos forrados.

Por último, la atenuación del conducto es función de la longitud de este y por lo tanto se calcula según la expresión de la ecuación 54:

$$\Delta l_e = \Delta l_y * (l_e / l_y) \quad (54)$$

Siendo:

$l_e$  = longitud del conducto a calcular.

$\Delta l_e$  = Atenuación del conducto en dB.

Para los casos de estudio suponemos que la temperatura del aire que fluye por el silenciador es de 25°C.

Los datos obtenidos del silenciador tipo 100-200 de dimensiones 600 x 600 x 900 son los que figuran en la tabla XCV:

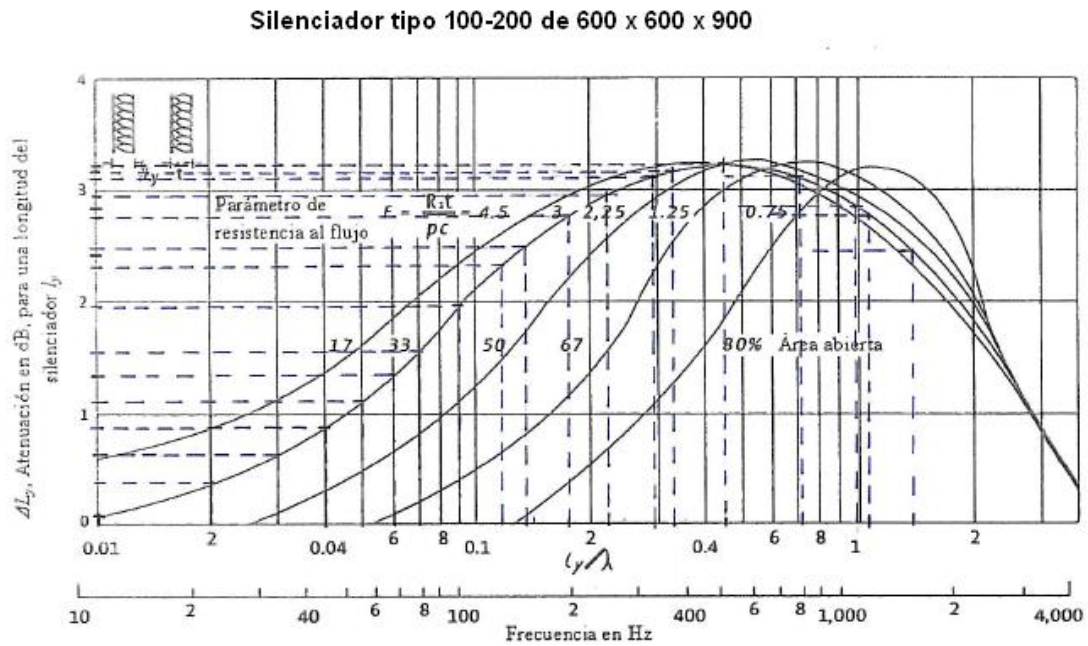


Figura 58. Valores obtenidos de atenuación para silenciador tipo 100-200 con un 33 % de apertura aproximadamente.

Sabiendo que se ha tenido en cuenta que:

$$l_y = 100 \text{ mm};$$

$$l = 300 \text{ mm};$$

$$\Delta l_y = 33,3 \%$$

Se presenta un resumen de los valores de atenuación en la tabla XCV y se representa gráficamente en la figura 59:

<b>Atenuación por conductos forrados de silenciador tipo 100-200</b>				
<b>Fr [Hz]</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b><math>l_y/\lambda</math></b>	<b><math>\Delta l_y</math></b>	<b><math>\Delta l_e</math></b>
<b>50</b>	6,93	0,01	0,10	<b>0,9</b>
<b>63</b>	5,50	0,02	0,35	<b>3,2</b>
<b>80</b>	4,33	0,02	0,40	<b>3,6</b>
<b>100</b>	3,47	0,03	0,70	<b>6,3</b>
<b>125</b>	2,77	0,04	0,85	<b>7,7</b>
<b>160</b>	2,17	0,05	1,10	<b>9,9</b>
<b>200</b>	1,73	0,06	1,30	<b>11,7</b>
<b>250</b>	1,39	0,07	1,60	<b>14,4</b>
<b>315</b>	1,10	0,09	1,95	<b>17,6</b>
<b>400</b>	0,87	0,12	2,20	<b>19,8</b>
<b>500</b>	0,69	0,14	2,40	<b>21,6</b>
<b>630</b>	0,55	0,18	2,75	<b>24,8</b>
<b>800</b>	0,43	0,23	2,90	<b>26,1</b>
<b>1000</b>	0,35	0,29	3,10	<b>27,9</b>
<b>1250</b>	0,28	0,36	3,25	<b>29,3</b>
<b>1600</b>	0,22	0,46	3,35	<b>30,2</b>
<b>2000</b>	0,17	0,58	3,20	<b>28,8</b>
<b>2500</b>	0,14	0,72	3,10	<b>27,9</b>
<b>3150</b>	0,11	0,91	2,90	<b>26,1</b>
<b>4000</b>	0,09	1,15	2,85	<b>25,7</b>
<b>5000</b>	0,07	1,44	2,45	<b>22,1</b>

Tabla. XCV. Tabla resumen de valores del cálculo de la atenuación por conducto forrado del silenciador tipo 100-200.

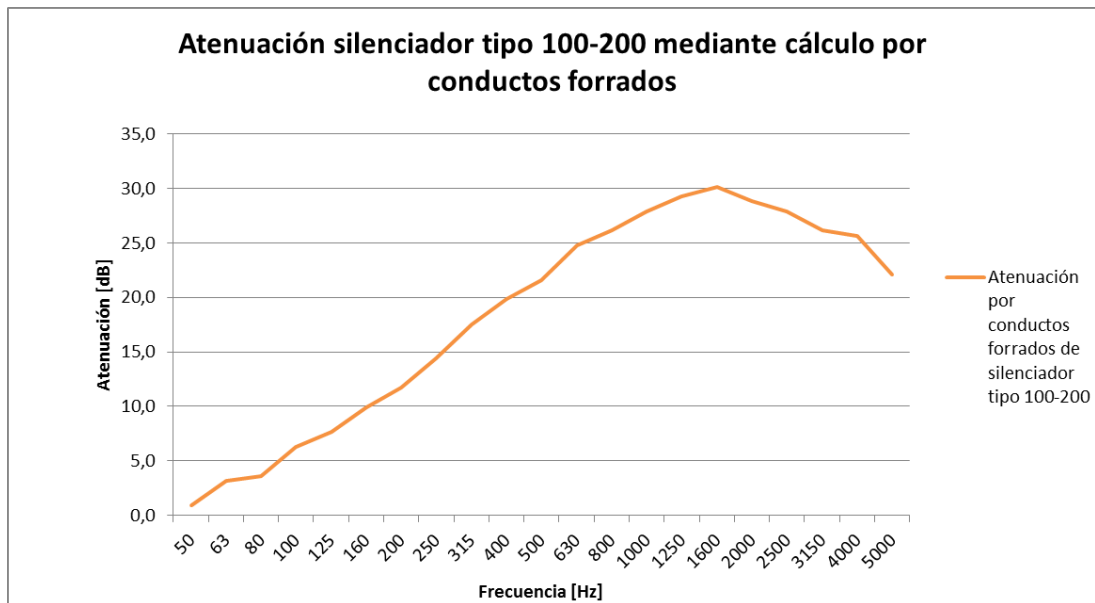


Figura 59. Atenuación del silenciador tipo 100-200 obtenida por cálculo de conductos forrados.

Reproducimos el proceso para los silenciadores 150-200 y 200-200:

Para el silenciador tipo 150-200, cuyas dimensiones son 700 x 600 x 900 mm, se obtienen los valores de atenuación a partir de la gráfica de la figura 60 sabiendo que:

$$l_y = 150 \text{ mm ;}$$

$$l = 350 \text{ mm ;}$$

$$\Delta l_y = 42,85 \%$$

La representación gráfica de los valores teóricos para este tipo de silenciador se puede observar en la figura 61 y el resumen de los valores de cálculo que muestra en la tabla XCVI.

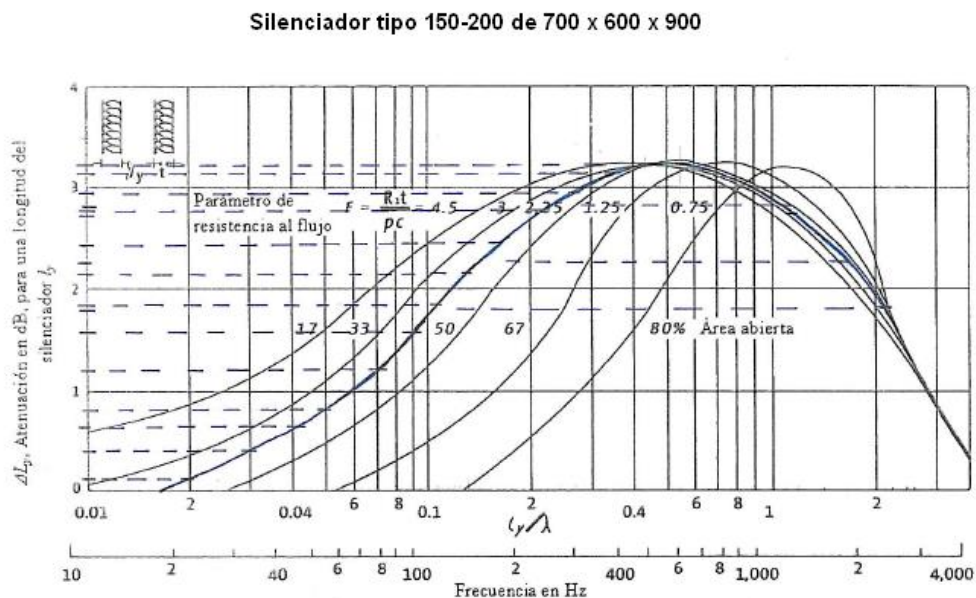


Figura 60. Valores obtenidos de atenuación para silenciador tipo 150-200 con un 43 % de apertura aproximadamente.

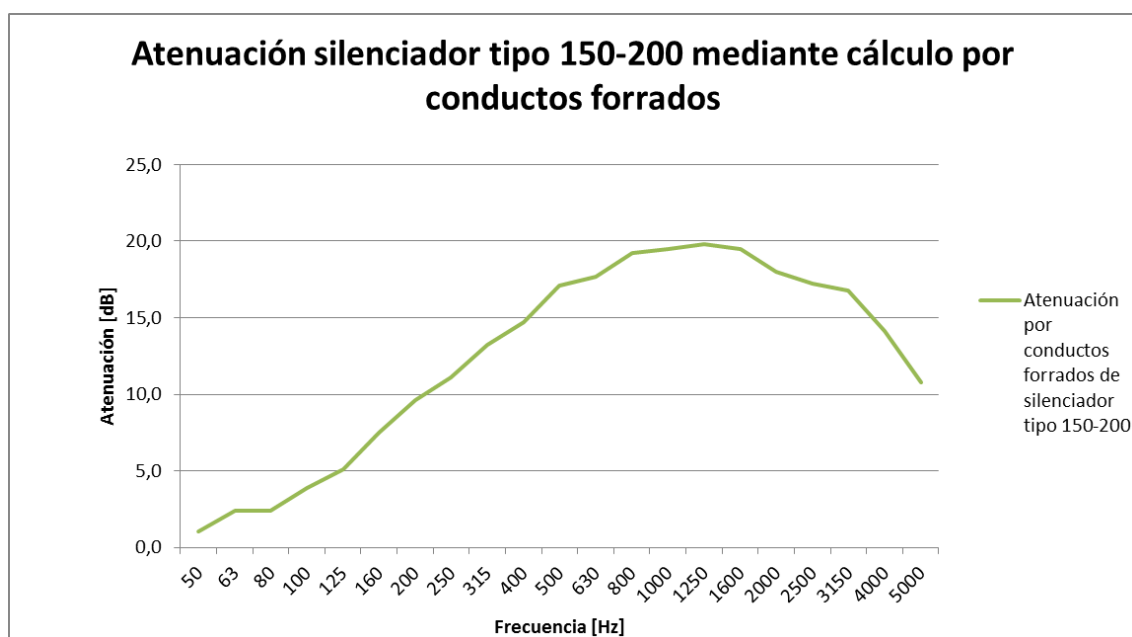


Figura 61. Representación gráfica de la atenuación del silenciador tipo 150-200 obtenida por cálculo de conductos forrados.

La tabla XCVI muestra los valores de atenuación del silenciador tipo 150-200:

<b>Atenuación por conductos forrados de silenciador tipo 150-200</b>				
<b>Fr [Hz]</b>	$\lambda$	$l_y/\lambda$	$\Delta l_y$	$\Delta l_e$
<b>50</b>	6,93	0,02	0,18	<b>1,1</b>
<b>63</b>	5,50	0,03	0,40	<b>2,4</b>
<b>80</b>	4,33	0,03	0,40	<b>2,4</b>
<b>100</b>	3,47	0,04	0,65	<b>3,9</b>
<b>125</b>	2,77	0,05	0,85	<b>5,1</b>
<b>160</b>	2,17	0,07	1,25	<b>7,5</b>
<b>200</b>	1,73	0,09	1,60	<b>9,6</b>
<b>250</b>	1,39	0,11	1,85	<b>11,1</b>
<b>315</b>	1,10	0,14	2,20	<b>13,2</b>
<b>400</b>	0,87	0,17	2,45	<b>14,7</b>
<b>500</b>	0,69	0,22	2,85	<b>17,1</b>
<b>630</b>	0,55	0,27	2,95	<b>17,7</b>
<b>800</b>	0,43	0,35	3,20	<b>19,2</b>
<b>1000</b>	0,35	0,43	3,25	<b>19,5</b>
<b>1250</b>	0,28	0,54	3,30	<b>19,8</b>
<b>1600</b>	0,22	0,69	3,25	<b>19,5</b>
<b>2000</b>	0,17	0,87	3,00	<b>18,0</b>
<b>2500</b>	0,14	1,08	2,87	<b>17,2</b>
<b>3150</b>	0,11	1,36	2,80	<b>16,8</b>
<b>4000</b>	0,09	1,73	2,35	<b>14,1</b>
<b>5000</b>	0,07	2,16	1,80	<b>10,8</b>

Tabla. XCVI. Tabla resumen de valores del cálculo de la atenuación por conducto forrado del silenciador tipo 150-200.

Para el silenciador tipo 200-200 la gráfica será la correspondiente a la curva del 50%.

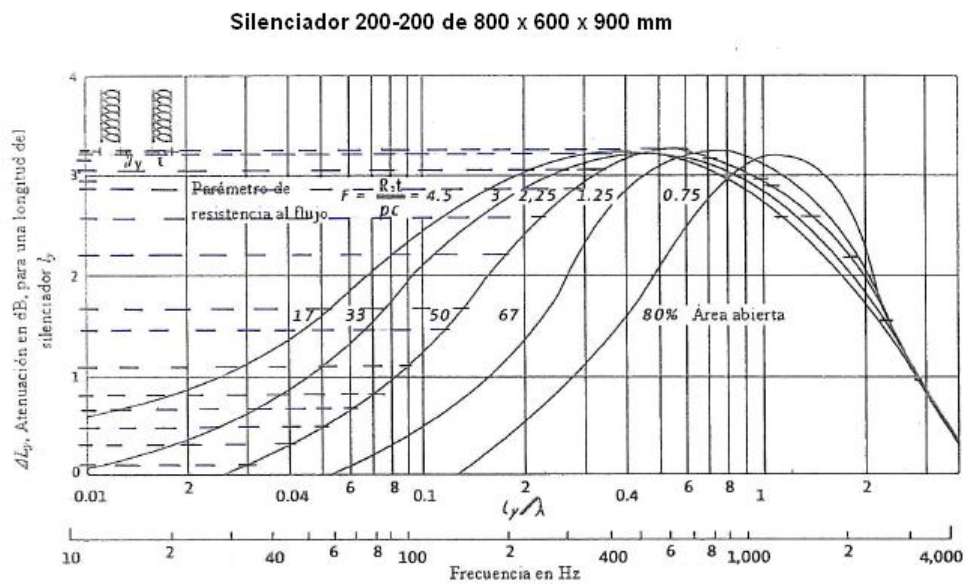


Figura 62. Valores obtenidos de atenuación para silenciador tipo 200-200 con un 50 % de apertura.

Los datos de entrada serán:

$$l_y = 200 \text{ mm} ;$$

$$l = 400 \text{ mm} ;$$

$$\Delta l_y = 50 \%$$



<b>Atenuación por conductos forrados de silenciador tipo 200-200</b>				
<b>Fr [Hz]</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b><math>l_y/\lambda</math></b>	<b><math>\Delta l_y</math></b>	<b><math>\Delta l_e</math></b>
<b>50</b>	6,93	0,03	0,20	<b>0,9</b>
<b>63</b>	5,50	0,04	0,35	<b>1,6</b>
<b>80</b>	4,33	0,05	0,45	<b>2,0</b>
<b>100</b>	3,47	0,06	0,70	<b>3,2</b>
<b>125</b>	2,77	0,07	0,85	<b>3,8</b>
<b>160</b>	2,17	0,09	1,15	<b>5,2</b>
<b>200</b>	1,73	0,12	1,50	<b>6,8</b>
<b>250</b>	1,39	0,14	1,70	<b>7,7</b>
<b>315</b>	1,10	0,18	2,20	<b>9,9</b>
<b>400</b>	0,87	0,23	2,55	<b>11,5</b>
<b>500</b>	0,69	0,29	2,85	<b>12,8</b>
<b>630</b>	0,55	0,36	3,05	<b>13,7</b>
<b>800</b>	0,43	0,46	3,20	<b>14,4</b>
<b>1000</b>	0,35	0,58	3,25	<b>14,6</b>
<b>1250</b>	0,28	0,72	3,10	<b>14,0</b>
<b>1600</b>	0,22	0,92	2,95	<b>13,3</b>
<b>2000</b>	0,17	1,15	2,90	<b>13,1</b>
<b>2500</b>	0,14	1,44	2,55	<b>11,5</b>
<b>3150</b>	0,11	1,82	2,20	<b>9,9</b>
<b>4000</b>	0,09	2,31	1,60	<b>7,2</b>
<b>5000</b>	0,07	2,88	0,95	<b>4,3</b>

Tabla. XCVII. Tabla resumen de valores del cálculo de la atenuación por conducto forrado del silenciador tipo 200-200.

Y su representación gráfica la presentada en la figura 63:

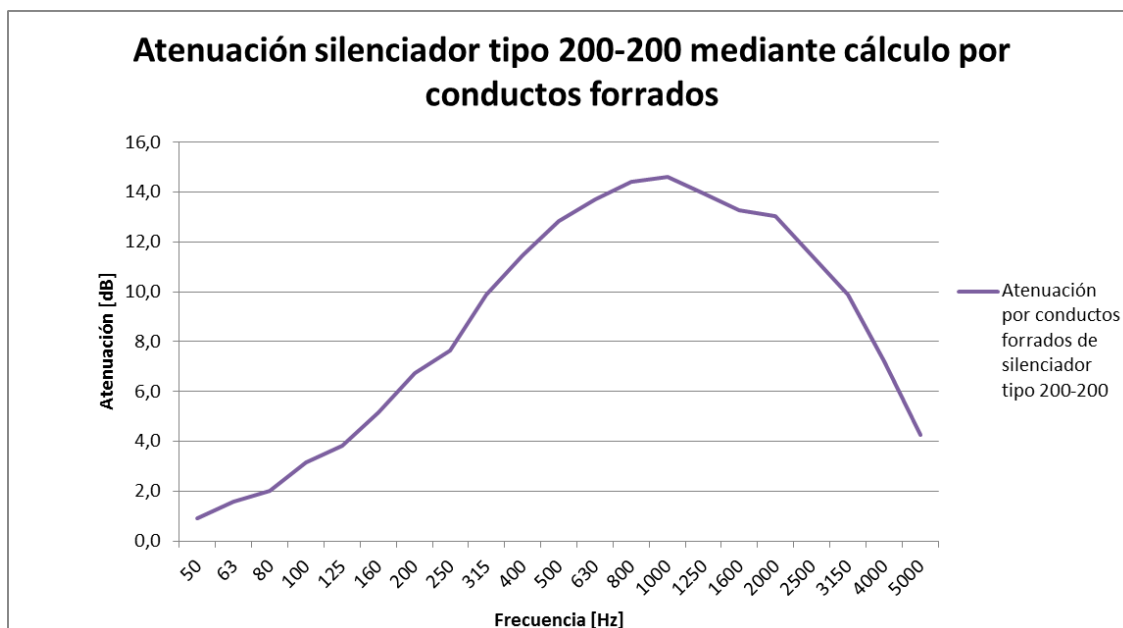


Figura 63. Representación gráfica de la atenuación del silenciador tipo 200-200 obtenida por el método de las pérdidas por inserción.

# **9**

## **Resumen de resultados, comparaciones y exposición de conclusiones.**

## **9.1. Comparación de resultados.**

Para facilitar el análisis final y poder realizar una valoración del trabajo desarrollado, en este apartado se trasponen los resultados obtenidos en los distintos ensayos, tanto de pérdidas por inserción de silenciadores como de aislamiento a ruido aéreo de los paneles acústicos.

Se incluyen también los datos de cálculo de la atenuación de silenciadores por el método de conductos forrados y además se presentan datos de productos similares de otros fabricantes para ver con claridad si los valores obtenidos se aproximan a los facilitados por otros en el mercado del sector.

### 9.1.1. Aislamiento a ruido aéreo.

#### 9.1.1.1 Resultado del ensayo de aislamiento a ruido aéreo.

El valor del aislamiento a ruido aéreo obtenido de los ensayos realizados para el desarrollo de este proyecto se vuelve a mostrar en la tabla XCVIII.

Hz	R dB
50	11,9
63	12,5
80	23,3
100	17,7
125	18,3
160	17,3
200	19,0
250	23,5
315	26,6
400	30,5
500	33,6
630	35,6
800	37,7
1000	41,2
1250	43,8
1600	45,3
2000	45,4
2500	42,1
3150	41,9
4000	41,8
5000	38,5

Tabla. XCVIII. Tabla resumen de valores del aislamiento a ruido aéreo obtenido del ensayo.

### 9.1.1.2 Datos de otros fabricantes de aislamiento a ruido aéreo.

Se ha investigado en los catálogos y documentos que facilitan otros fabricantes de sus productos y buscando aquel que cumple las mismas especificaciones técnicas, se ha seleccionado y transpuesto en la tabla XCIX los datos de aislamiento para un panel acústico de 80 mm de espesor formado por una chapa lisa de acero galvanizado al exterior, lana de roca en un espesor de 80 mm y terminación en chapa perforada.

Para poder comparar estos datos con los resultados del ensayo del panel de Transformados Acuter, P.Acustic 3.2, se han transformado los datos en bandas de octavas y se han incluido en la tabla.

La figura 64 muestra los datos gráficamente.

Aislamiento de Panel de e=80 mm fabricado en chapa lisa, lana mineral y chapa perforada				
Fabricante / Frecuencia (Hz)	Acusticmodul 80 (Acústica Integral)	TS-C80 (Tecson)	ST- PA80 (Stoc)	P-Acustic 3.2 (Acuter)
125	19	23	22	18
250	29	30	29	21
500	39	38	41	33
1000	43	48	48	40
2000	41	50	47	44
4000	50	52	48	41

Tabla. XCIX. Datos de distintos fabricantes del aislamiento a ruido aéreo de panel de 80 mm formado por chapa lisa, lana mineral y chapa perforada.

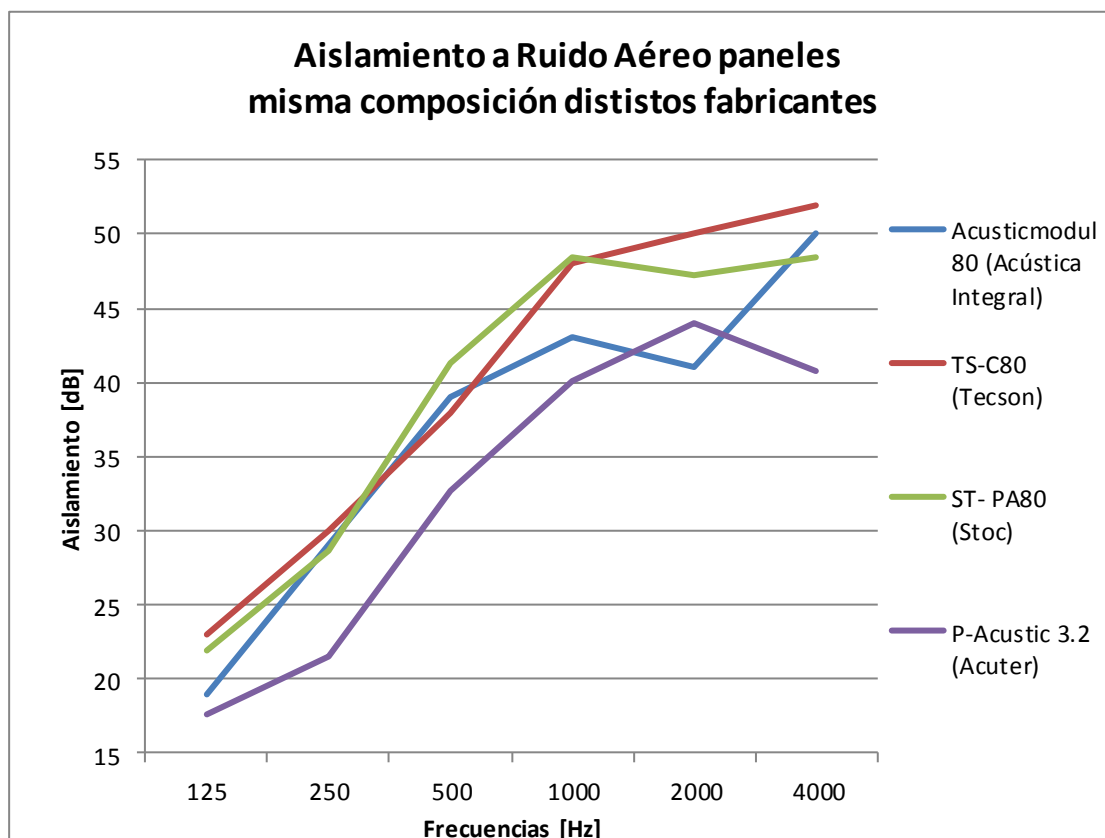


Figura 64. Aislamiento a ruido aéreo de paneles de 80 mm que facilitan fabricantes del sector acústico incluso Índice de Reducción Acústica del Panel P.Acustic 3.2 de Acuter obtenido por ensayo.

### 9.1.1.3 Predicción de datos del programa comercial de cálculos acústicos “Insul” del aislamiento que proporcionan dos paneles de 80 mm.

Se presenta la tabla C con la predicción del nivel de aislamiento a ruido aéreo que se calculó a través del “Insul” contemplando los dos paneles de 80 mm puestos consecutivamente y el índice de reducción acústica que se obtuvo de la medición del ensayo de los paneles P.Acustic 3.2 de Acuter.

Frecuencia [Hz]	TL [dB] Panel doble 80 + 80 mm	R [dB] P.Acustic 3.2
50	10	12
63	7	13
80	12	23
100	20	18
125	26	18
160	35	17
200	43	19
250	51	24
315	57	27
400	61	31
500	64	34
630	66	36
800	68	38
1000	70	41
1250	72	44
1600	74	45
2000	76	45
2500	78	42
3150	80	42
4000	82	42
5000	84	39

Tabla. C. Aislamiento a ruido aéreo de dos paneles de 80 mm de espesor obtenido mediante el Programa comercial de cálculo “Insul” y El índice de reducción acústica de los paneles P.Acustic 3.2 de Acuter obtenido mediante ensayo.



La figura 65 representa gráficamente los valores de la tabla C.

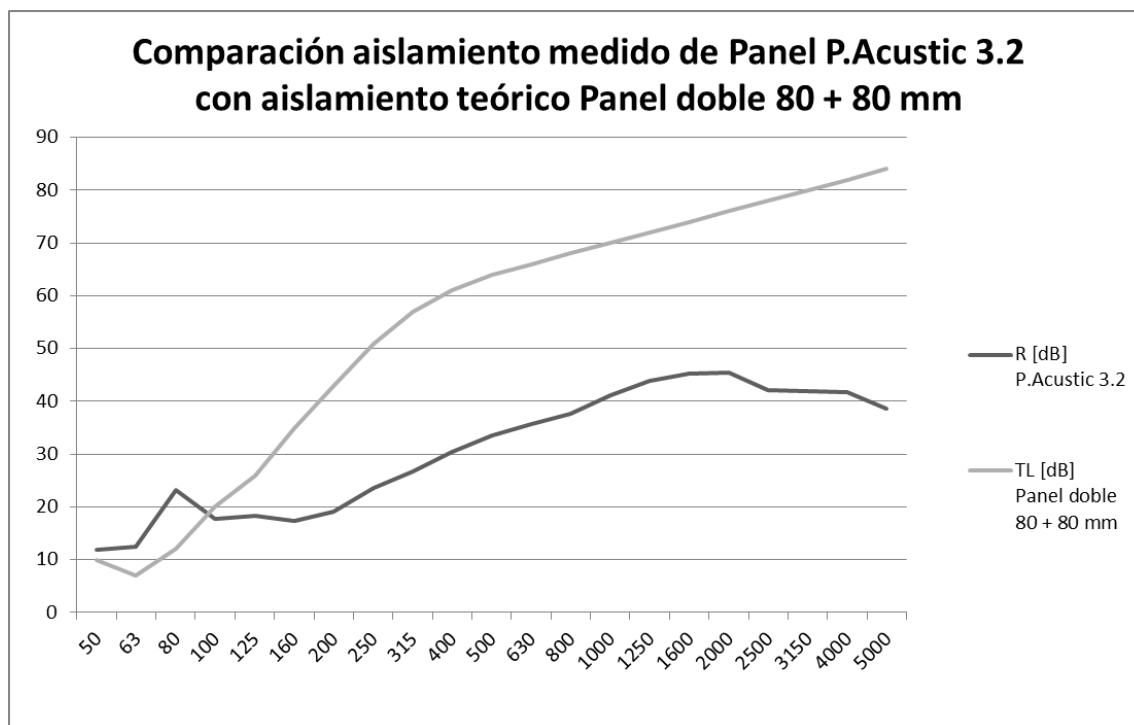


Figura 65. Representación gráfica del aislamiento a ruido aéreo que proporcionan dos paneles consecutivos de 80 mm de espesor comparado con el índice de reducción acústica obtenido mediante ensayo del panel P.Acustic 3.2 de Acuter.

## 9.1.2. Pérdidas por inserción

### 9.1.2.1 Resultado de los ensayos de pérdidas por inserción.

Trasponemos los resultados obtenidos de las atenuaciones en los distintos silenciadores por los dos métodos considerados.

Los valores obtenidos para el silenciador tipo 100-200 de 600 x 600 x 900 mm de dimensiones son los representados en la tabla CI y gráficamente en la figura 66:

Silenciador tipo 100-200		
Frecuencia [Hz]	Atenuación por el método de conductos forrados	Pérdidas por inserción según UNE EN ISO 11820
50	0,9	5,4
63	3,2	4,0
80	3,6	3,9
100	6,3	6,0
125	7,7	9,2
160	9,9	10,6
200	11,7	15,5
250	14,4	20,8
315	17,6	19,9
400	19,8	19,6
500	21,6	23,5
630	24,8	24,8
800	26,1	29,0
1000	27,9	31,2
1250	29,3	32,9
1600	30,2	38,4
2000	28,8	42,1
2500	27,9	43,8
3150	26,1	40,0
4000	25,7	35,2
5000	22,1	27,2

Tabla. CI. Resumen de valores de atenuación por el método de conducto forrado y por pérdidas por inserción en silenciador tipo 100-200.

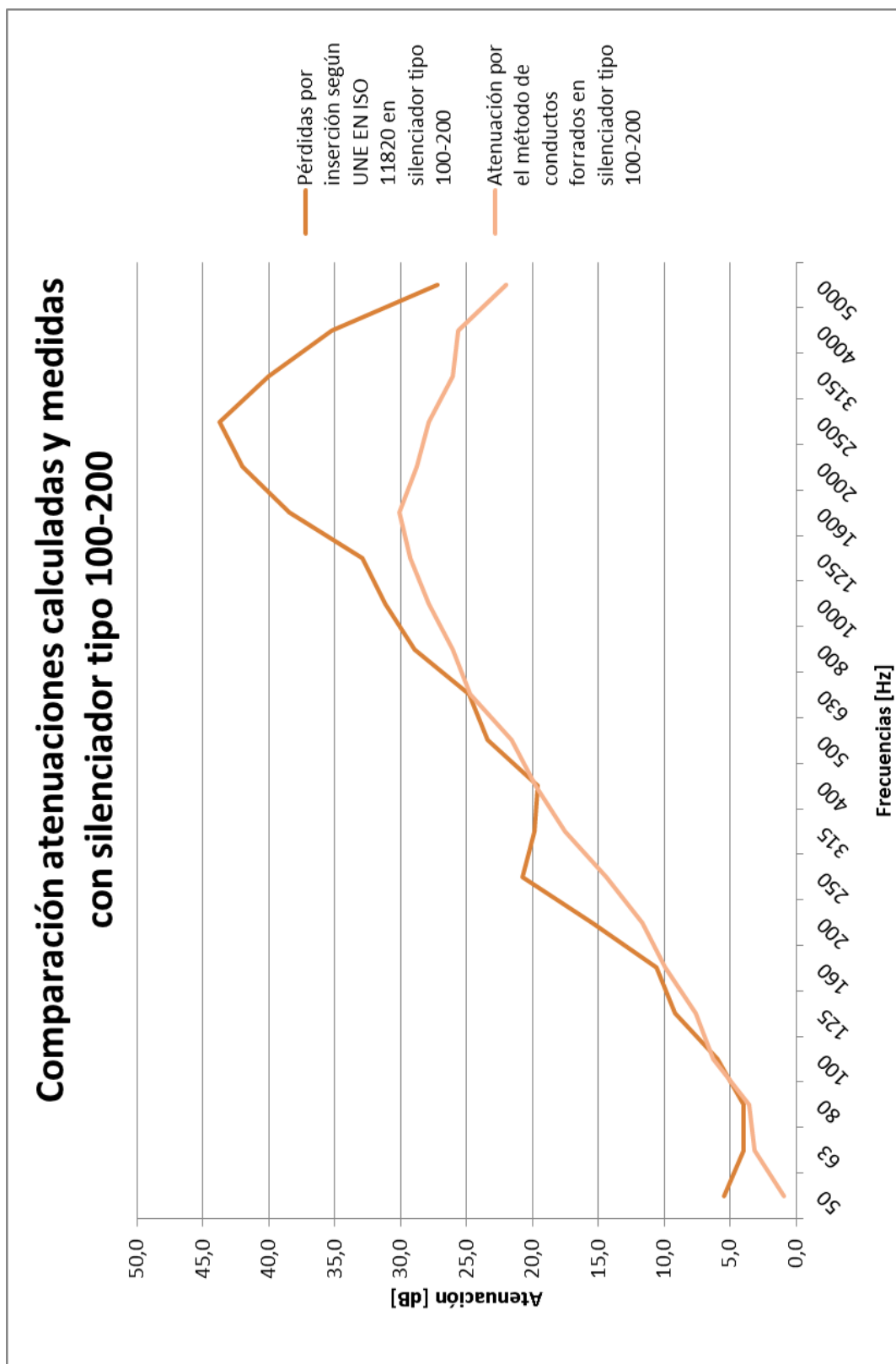


Figura 66. Comparación de resultado de atenuación del silenciador tipo 100-200.

Los resultados del silenciador tipo 150-200 de dimensiones 700 x 600 x 900 mm se muestran en la tabla CII:

<b>Silenciador tipo 150-200</b>		
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Atenuación por el método de conductos forrados</b>	<b>Pérdidas por inserción según UNE EN ISO 11820</b>
<b>50</b>	<b>1,1</b>	<b>3,5</b>
<b>63</b>	<b>2,4</b>	<b>2,5</b>
<b>80</b>	<b>2,4</b>	<b>4,8</b>
<b>100</b>	<b>3,9</b>	<b>5,4</b>
<b>125</b>	<b>5,1</b>	<b>5,2</b>
<b>160</b>	<b>7,5</b>	<b>7,3</b>
<b>200</b>	<b>9,6</b>	<b>10,7</b>
<b>250</b>	<b>11,1</b>	<b>13,6</b>
<b>315</b>	<b>13,2</b>	<b>13,6</b>
<b>400</b>	<b>14,7</b>	<b>14,4</b>
<b>500</b>	<b>17,1</b>	<b>16,4</b>
<b>630</b>	<b>17,7</b>	<b>17,8</b>
<b>800</b>	<b>19,2</b>	<b>20,7</b>
<b>1000</b>	<b>19,5</b>	<b>22,3</b>
<b>1250</b>	<b>19,8</b>	<b>25,6</b>
<b>1600</b>	<b>19,5</b>	<b>29,6</b>
<b>2000</b>	<b>18,0</b>	<b>30,8</b>
<b>2500</b>	<b>17,2</b>	<b>29,4</b>
<b>3150</b>	<b>16,8</b>	<b>24,5</b>
<b>4000</b>	<b>14,1</b>	<b>19,0</b>
<b>5000</b>	<b>10,8</b>	<b>9,9</b>

Tabla. CII. Resumen de valores de atenuación por el método de conducto forrado y por pérdidas por inserción en silenciador tipo 150-200.

Los datos se ven representados gráficamente en la figura 67.

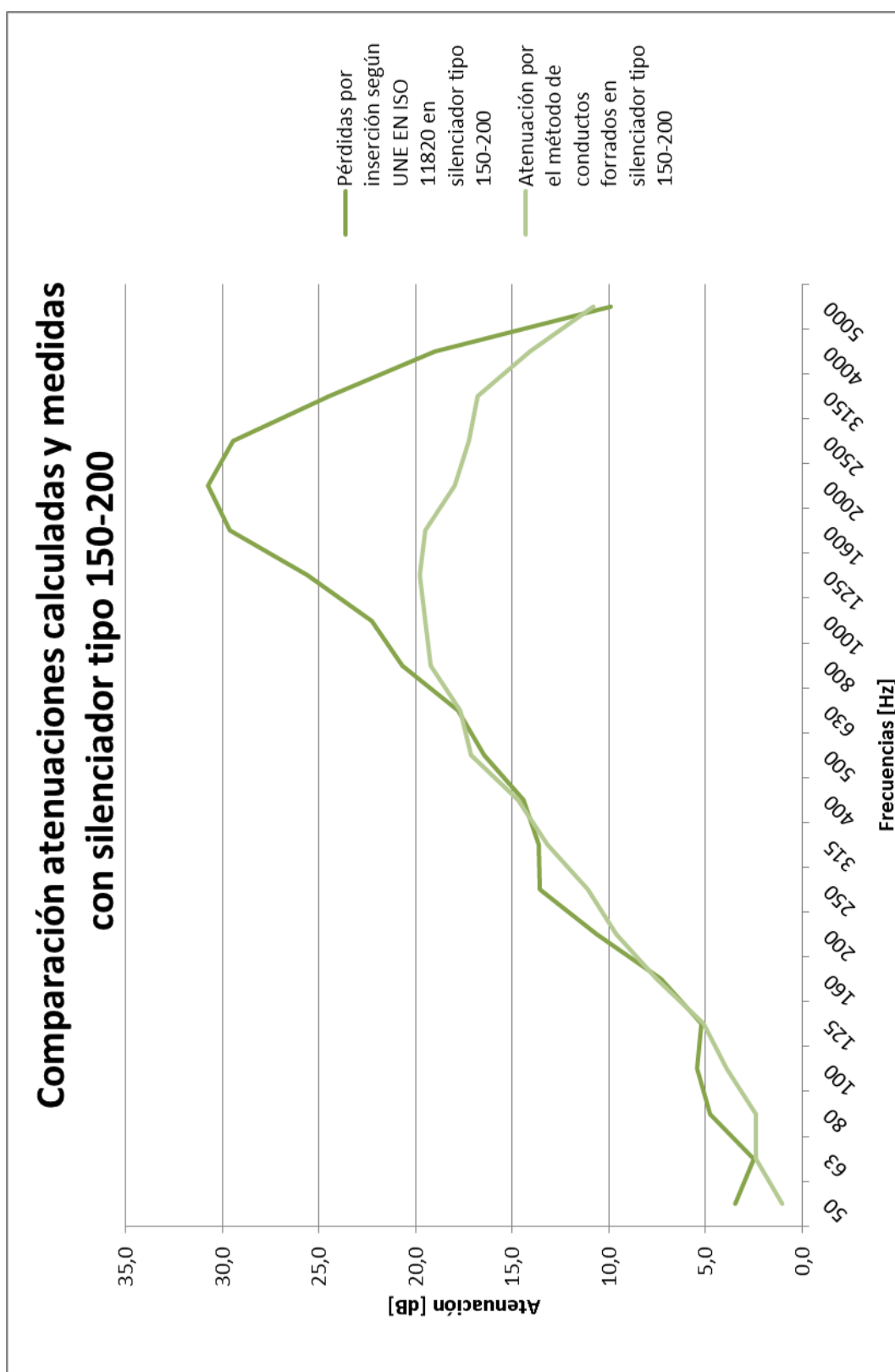


Figura 67. Comparación de resultado de atenuación del silenciador tipo 150-200.

Del silenciador tipo 200-200 de dimensiones 800 x 600 x 900 mm obtuvimos los valores de la tabla CIII:

<b>Silenciador tipo 200-200</b>		
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Atenuación por el método de conductos forrados</b>	<b>Pérdidas por inserción según UNE EN ISO 11820</b>
<b>50</b>	<b>0,9</b>	<b>2,2</b>
<b>63</b>	<b>1,6</b>	<b>2,7</b>
<b>80</b>	<b>2,0</b>	<b>2,6</b>
<b>100</b>	<b>3,2</b>	<b>3,8</b>
<b>125</b>	<b>3,8</b>	<b>2,7</b>
<b>160</b>	<b>5,2</b>	<b>4,3</b>
<b>200</b>	<b>6,8</b>	<b>8,4</b>
<b>250</b>	<b>7,7</b>	<b>10,5</b>
<b>315</b>	<b>9,9</b>	<b>10,7</b>
<b>400</b>	<b>11,5</b>	<b>11,1</b>
<b>500</b>	<b>12,8</b>	<b>12,7</b>
<b>630</b>	<b>13,7</b>	<b>14,6</b>
<b>800</b>	<b>14,4</b>	<b>17,5</b>
<b>1000</b>	<b>14,6</b>	<b>17,6</b>
<b>1250</b>	<b>14,0</b>	<b>21,1</b>
<b>1600</b>	<b>13,3</b>	<b>25,6</b>
<b>2000</b>	<b>13,1</b>	<b>25,1</b>
<b>2500</b>	<b>11,5</b>	<b>19,2</b>
<b>3150</b>	<b>9,9</b>	<b>13,4</b>
<b>4000</b>	<b>7,2</b>	<b>11,5</b>
<b>5000</b>	<b>4,3</b>	<b>6,0</b>

Tabla. CIII. Resumen de valores de atenuación por el método de conducto forrado y por pérdidas por inserción en silenciador tipo 200-200.

Gráficamente quedan representados en la figura 68.

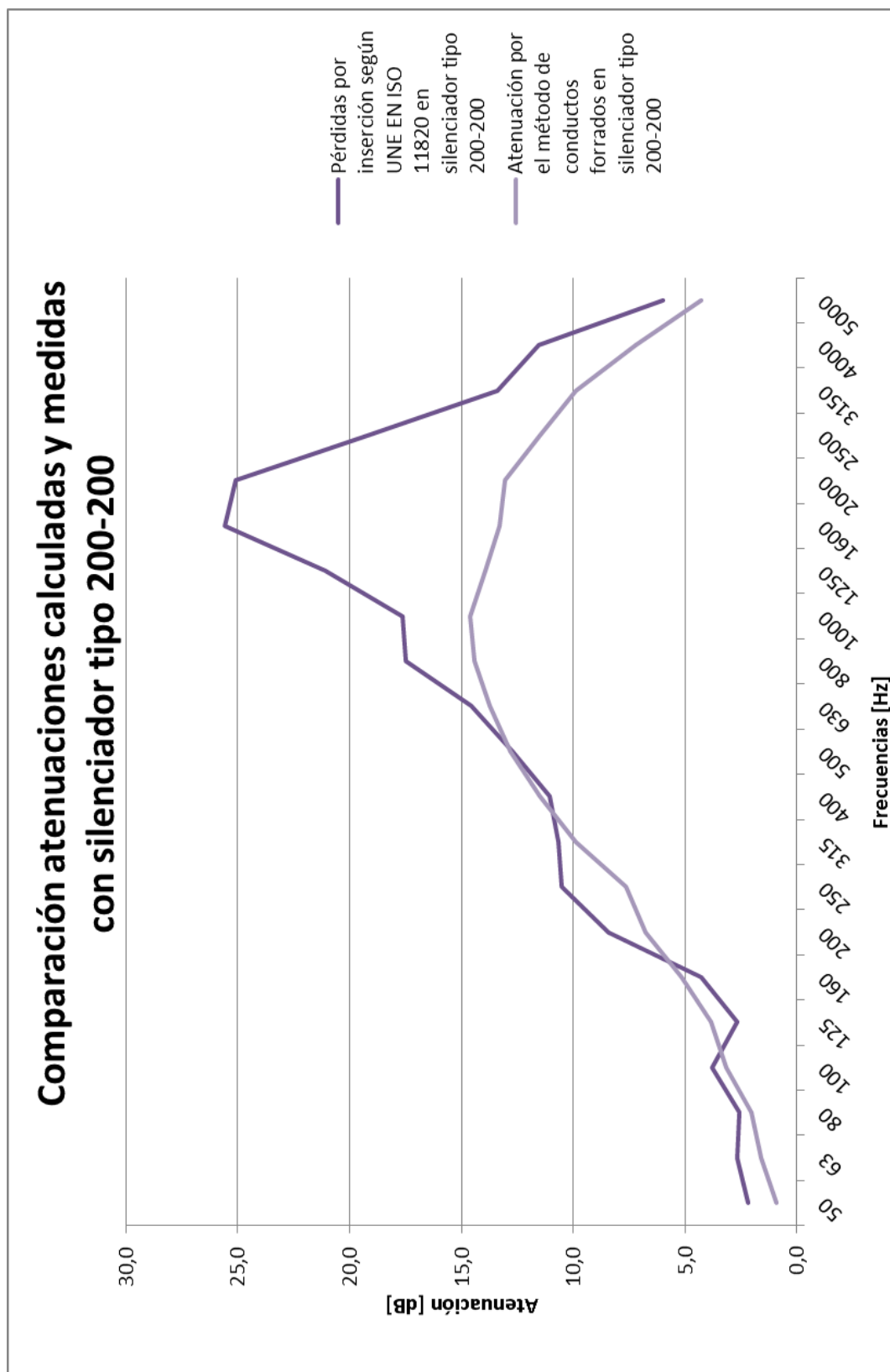


Figura 68. Representación gráfica de la comparación de resultado de atenuación del silenciador tipo 200-200.

La figura 69 representa la gráfica de atenuación por conductos forrados para los tres silenciadores:

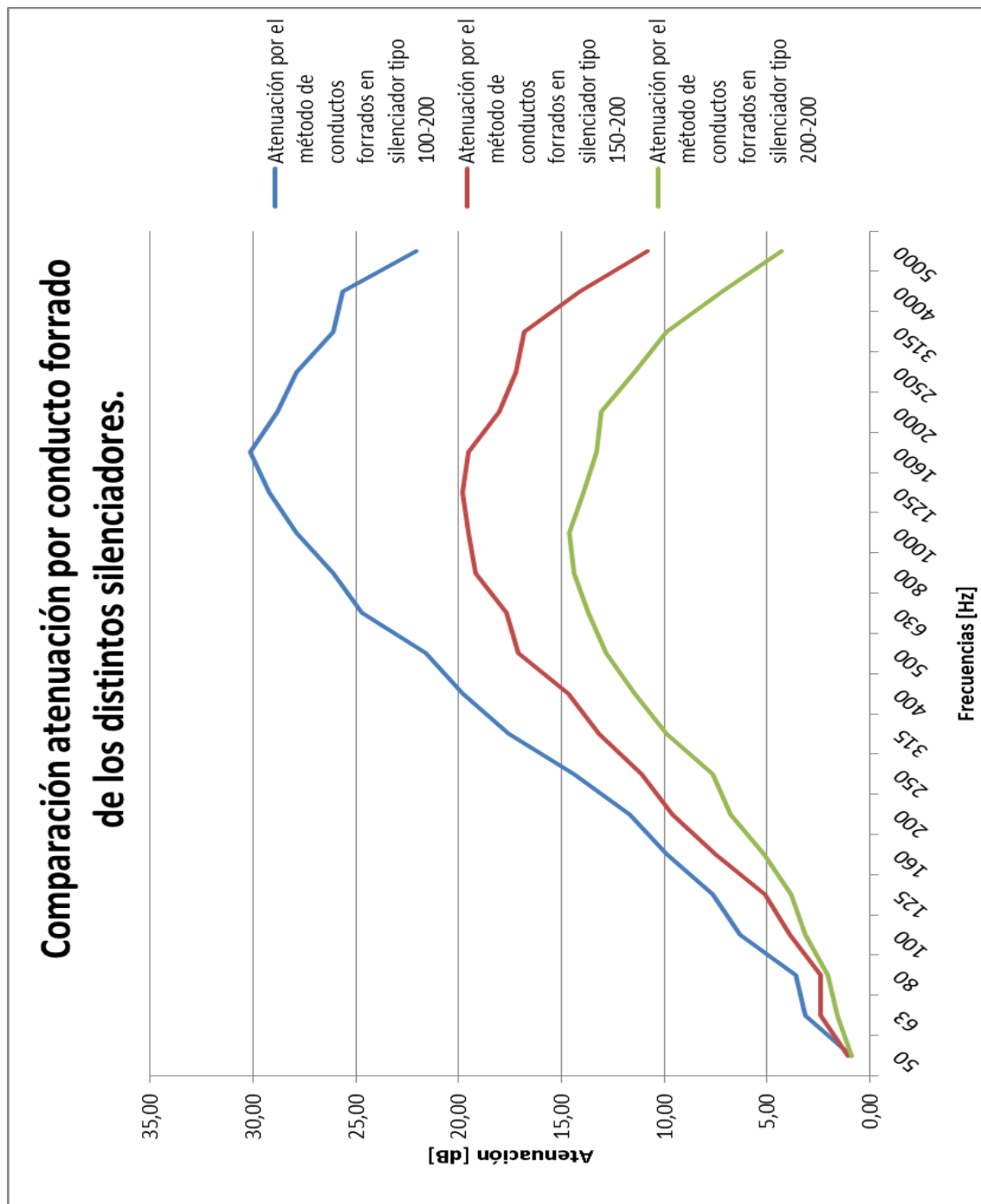


Figura 69. Representación gráfica de la comparación de los resultados de atenuación de los tres tipos de silenciadores.



Los valores de las pérdidas por inserción de los distintos silenciadores quedarían representados gráficamente en la figura 70:

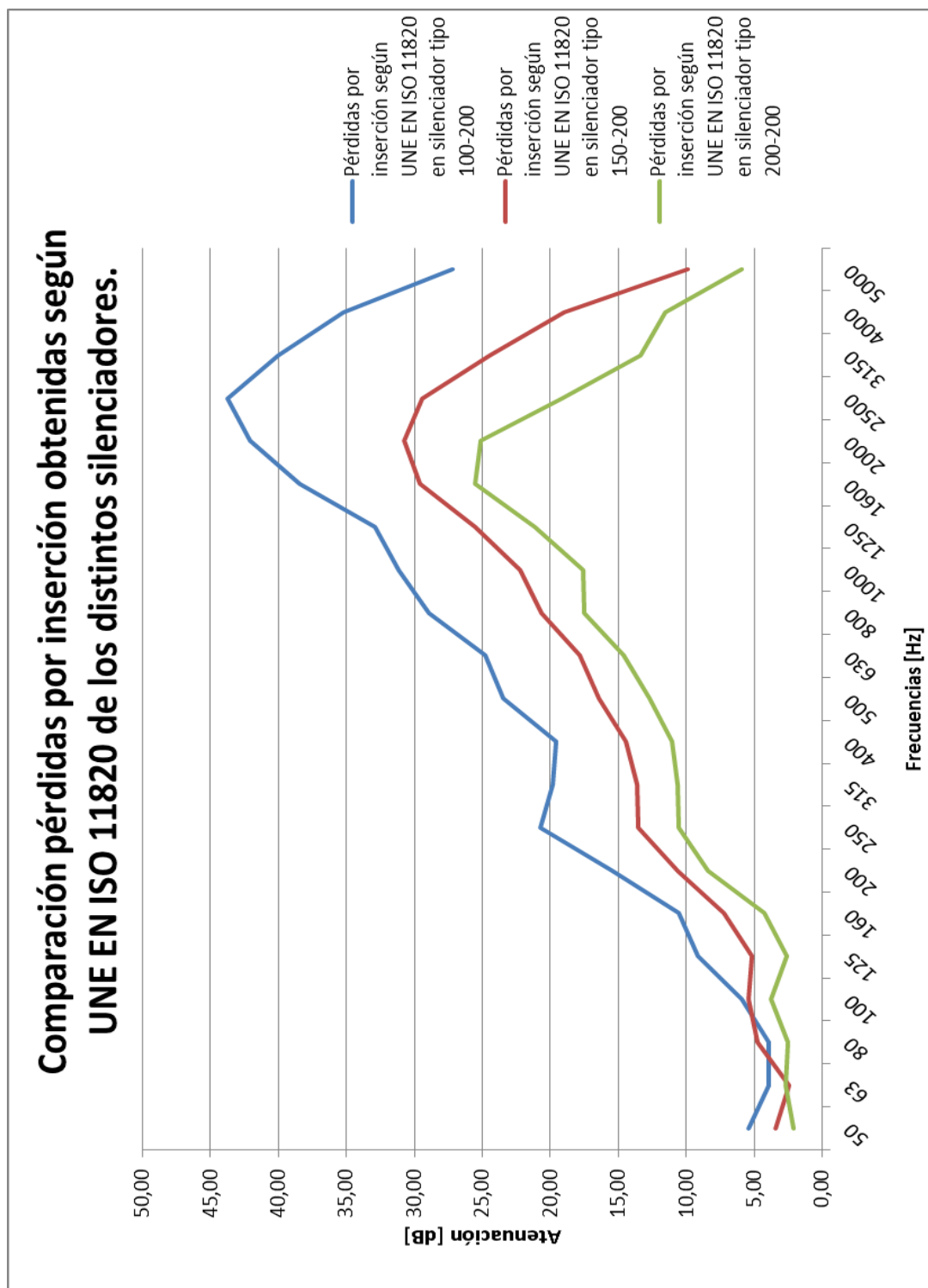


Figura 70. Representación gráfica de la comparación de los resultados de pérdidas por inserción de los tres tipos de silenciadores.

### 9.1.2.2 Datos de otros fabricantes de la atenuación de silenciadores.

Los valores que otros fabricantes facilitan de la atenuación que producen sus silenciadores se presentan en las sucesivas tablas.

Se ha procedido a obtener los datos de los distintos silenciadores de Transformados Acuter en bandas de octavas y se han incluido en las distintas tablas.

Para el silenciador con 100 mm de paso de aire, de 200 mm de celdilla y de 900 mm de profundidad los valores son los presentados en la tabla CIV y la figura 71 muestra su representación gráfica.

Silenciador tipo 100-200 (paso de aire-celdilla) L= 900 mm					
Fabricante/Hz	Sintex	Notson	Tradair	Tecson	Acuter
125	11	12	11	13	14
250	15	15	20	21	24
500	27	27	35	27	28
1000	35	35	38	35	36
2000	33	34	40	33	47
4000	26	30	30	26	41

Tabla. CIV. Valores de atenuación de distintos fabricantes de silenciadores tipo 100-200 y longitud 900 mm.

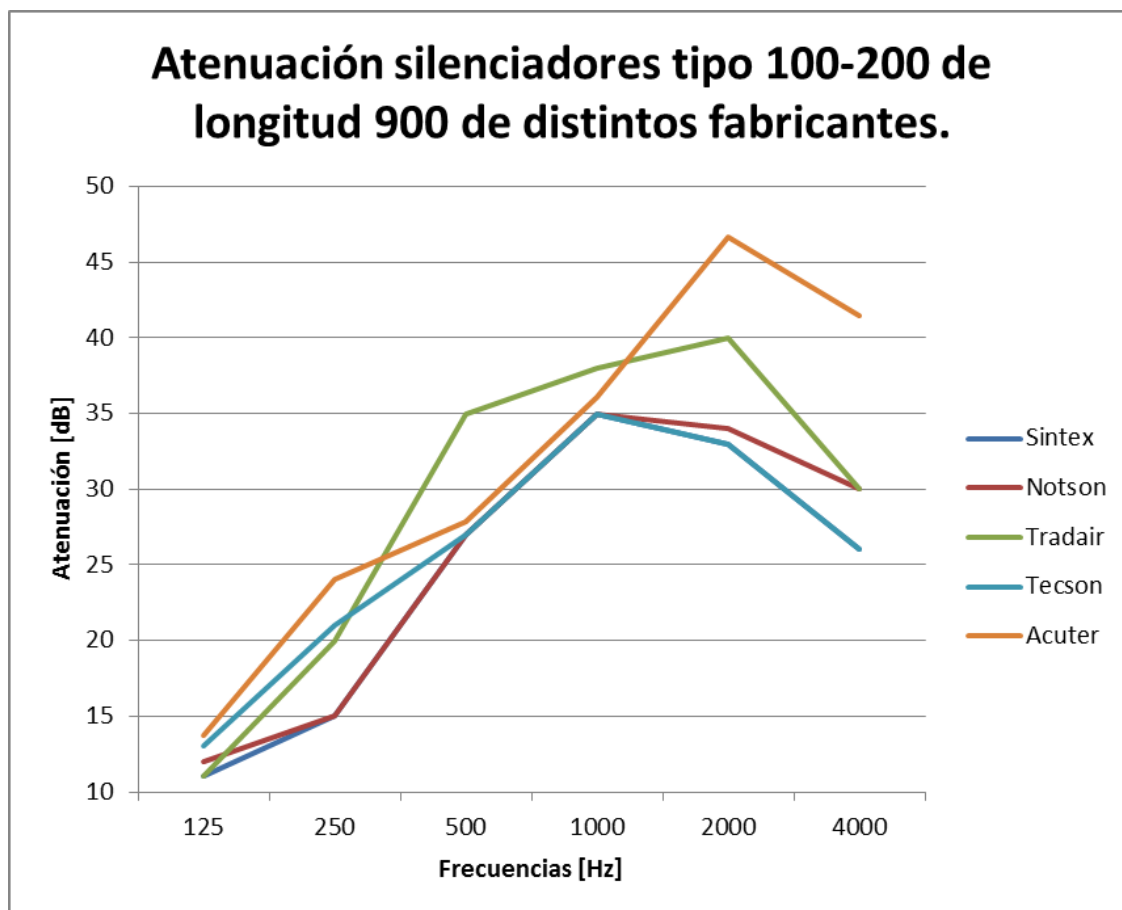


Figura 71. Valores de atenuación de distintos fabricantes de silenciadores tipo 100-200 y 900 mm de profundidad.

Los valores de la tabla CV y su representación gráfica de la figura 72 muestran los datos de silenciadores con 150 mm de paso de aire, de 200 mm de celdilla y de 900 mm de profundidad

Silenciador tipo 150-200 (paso de aire-celdilla) L= 900 mm					
Fabricante/Hz	Sintex	Notson	Tradair	Tecson	Acuter
125	6	6	6	10	11
250	9	9	13	16	18
500	23	24	23	23	21
1000	29	29	29	30	28
2000	25	25	25	25	35
4000	15	15	15	15	26

Tabla. CV. Valores de atenuación de distintos fabricantes de silenciadores tipo 150-200 y longitud 900 mm.

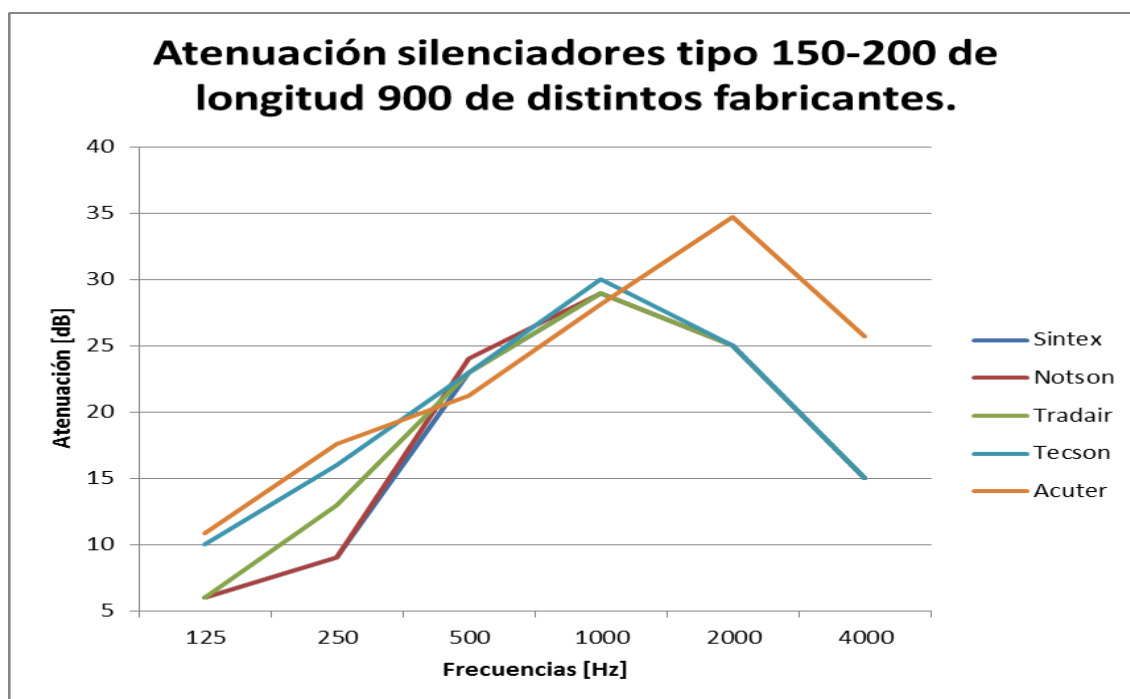


Figura 72. Valores de atenuación de distintos fabricantes de silenciadores tipo 150-200 y 900 mm de profundidad.

Los valores que los fabricantes facilitan del silenciador con 200 mm de paso de aire, 200 mm de celdilla y 900 mm de profundidad se presentan en la tabla CVI y su grafica en la figura 73.

Silenciador tipo 200-200 (paso de aire-celdilla) L= 900 mm					
Fabricante/Hz	Sintex	Notson	Tradair	Tecson	Acuter
125	5	5	5	8	8
250	9	9	9	12	15
500	20	20	20	20	18
1000	25	25	25	24	24
2000	19	19	18	19	29
4000	11	11	11	10	16

Tabla. CVI. Valores de atenuación de distintos fabricantes de silenciadores tipo 200-200 y longitud 900 mm.

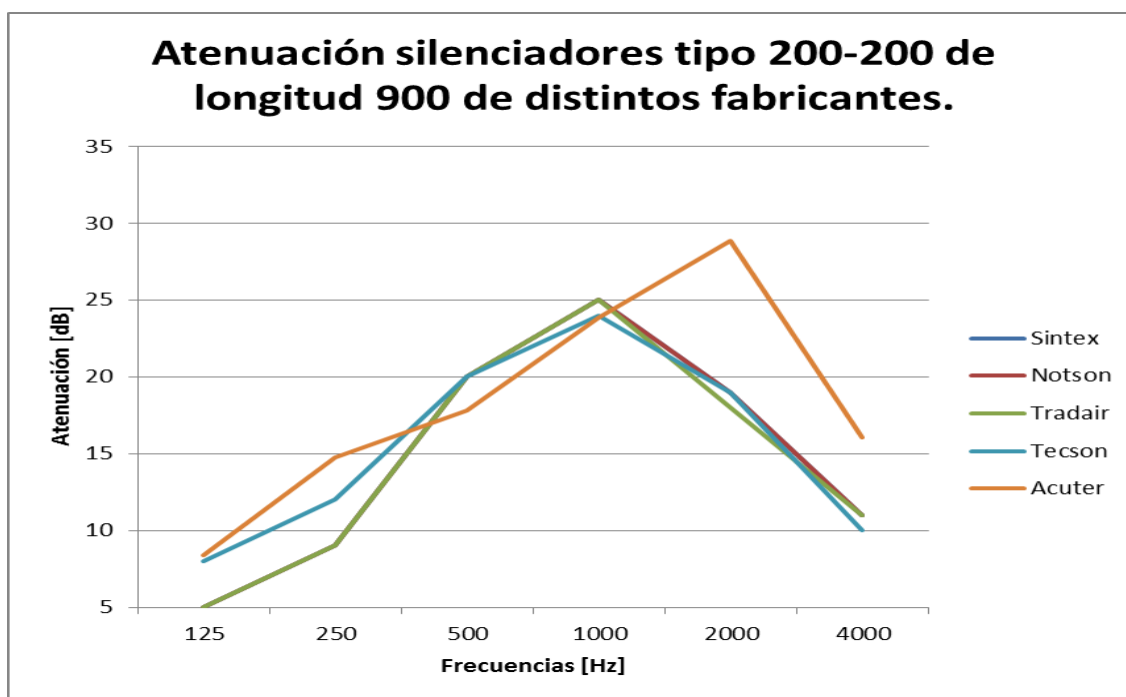


Figura 73. Valores de atenuación de distintos fabricantes de silenciadores tipo 150-200 y 900 mm de profundidad.

## 9.2. Exposición de conclusiones.

Con respecto a los valores obtenidos en el ensayo a ruido aéreo de los paneles acústicos P.Acustic 3.2 se puede observar en la gráfica de la figura 64, que son algo inferiores al del resto de fabricantes del mercado y es que estos últimos deben suministrar el valor de aislamiento que proporciona un único panel mientras que el ensayo que se ha realizado sobre el material de Transformados Acuter se ha efectuado sobre toda una pared de paneles acústicos. Indudablemente, no se consigue el mismo aislamiento al ensayar un panel en el cual su perímetro se recibe contra un elemento de mucha mayor masa, que cuando el ensayo se efectúa sobre una línea consecutiva de paneles, y es que las juntas entre paneles, a pesar de ser machihembradas, no tienen ni la misma masa que el elemento resistente perimetral, ni su estanqueidad es tan alta como cuando se remata perimetralmente contra un elemento de mucha mayor masa.

No obstante puede considerarse que el ensayo se ha efectuado correctamente, ya que los valores si que siguen la línea de atenuación de los demás paneles de los otros fabricantes del mercado, por lo que podemos decir que se ha cumplido con el primer objetivo del proyecto que era conseguir la atenuación de los elementos que componen el elemento básico del sistema de ensayo.

La simulación que se realiza en el “Insul” y que predice el aislamiento que produce el sistema introducido en él, nos asegura que a través del sistema vertical diseñado de bastidores no se transmite ruido y que por tanto todo el ruido que se introduce en la cámara reverberante y que mide el micrófono en las distintas posiciones y mediciones de los distintos silenciadores efectuadas en los ensayos, se corresponde al que pasa a través del sistema horizontal diseñado y más concretamente atraviesa el silenciador y el conducto de sustitución hasta la cámara.

La gráfica de la figura 65 nos asegura que el aislamiento que producen dos paneles de la misma composición que el P.Acustic 3.2 de Acuter ensayado, puestos uno detrás de otro nos da un aislamiento suficientemente grande como para confirmar la premisa anterior.

Para evaluar lo válidos o no que son los resultados de la medición “in situ” de silenciadores, con el sistema diseñado y según la norma UNE EN ISO 11820 confeccionamos varias comparaciones.

En primer lugar se trata de analizar la similitud del comportamiento del sistema en las distintas bandas de frecuencias de los datos obtenidos. En la gráfica de la figura 70, donde se comparan los resultados obtenidos por pérdidas por inserción de los tres tipos de silenciadores ensayados puede observarse que los resultados por frecuencias de los tres guardan una buena relación, el comportamiento de la curva de las pérdidas por inserción es similar en los tres casos, es más, se observa un pico de atenuación en los tres casos en la frecuencia de 250 Hz que debe ser característico del conjunto que forma el material absorbente que se emplea en las celdillas y de la chapa envolvente.

También podemos apreciar que los resultados obtenidos siguen la misma secuencia lógica, pues es evidente que al tener los tres la misma longitud, el silenciador con menor paso de aire permitirá, en menor medida, el paso del sonido que el que tiene mayor paso de aire, premisa que se cumple.

Todo esto es un indicio de que el sistema funciona de la misma manera para los tres silenciadores.

En segundo lugar se pretende demostrar también que el proceso de cálculo, que se ha seguido, realizado a partir del método de conductos forrados, presenta resultados lógicos y se puede ver en la gráfica de la figura 69, tanto el comportamiento similar de las curvas para los tres silenciadores ensayados, como la premisa que se comentaba de que la mayor atenuación la produce el silenciador con menor paso de aire.

Analizando las gráficas donde comparamos los resultados de cada silenciador por cada uno de los métodos, figuras 66, 67 y 68, puede decirse que los resultados obtenidos por el método de pérdidas por inserción mediante medición in situ son superiores a los que se obtiene del cálculo teórico de conductos forrados, esto sucede para los tres casos de silenciadores.

También se puede comprobar el mejor comportamiento en las medias-altas frecuencias que en las bajas frecuencias. Existe mayor atenuación en las altas frecuencias para los tres silenciadores y esto acontece en los dos métodos. Incluso cabe destacar un comportamiento algo anómalo del ensayo en el sistema en las

frecuencias más bajas, las de 50, 63 y 80 Hz. Para estas frecuencias, la incertidumbre es del mismo orden que la atenuación por lo que pocas conclusiones podemos sacar, ya que las medidas son poco precisas dada la incertidumbre.

Teniendo en cuenta que, en general, la primera valoración para cualquier montaje de cualquier silenciador que posteriormente se efectuará en obra, se hace por cálculo teórico y es sabido que a lo largo del montaje existen otras variables que influyen en los resultados que se tendrán en mediciones posteriores de cualquier instalación realizada, es lógico pensar que el cálculo teórico, proporcione resultados inferiores a los obtenidos por mediciones dejando un margen de seguridad y confianza que aseguren el cumplimiento de los niveles deseados, o exigidos. También hay que decir que en el cálculo por el método de conductos forrados sólo tiene en cuenta ondas longitudinales, con lo cual el método desprecia cualquier otra dirección de entrada, no teniendo en cuenta la atenuación que se producen en el resto de las direcciones. Esto justifica que los resultados de los valores de los ensayos superen a los calculados.

Por último, para conocer si los resultados obtenidos están dentro de los valores de mercado, se han buscado datos de silenciadores fabricados con los mismos materiales y que tengan las mismas especificaciones en cuanto a paso de aire, celdilla y longitud.

Los valores de otros fabricantes, de los tres tipos de silenciadores, que han sido ensayados a lo largo de este proyecto de Transformados Acuter, se presentan en las figuras 71, 72 y 73.

Los gráficos demuestran que los valores obtenidos en los ensayos de los silenciadores de Transformados Acuter, comparados con los del resto de los fabricantes, son muy similares, sobre todo en las bandas de frecuencias desde 125 a 1000 Hz.

Tras este análisis se puede concluir que el sistema funciona correctamente para el objetivo buscado que era el de diseñar un sistema en el que poder ensayar silenciadores de distintos tipos en un laboratorio.

Se podría completar este proyecto realizando ensayos a silenciadores con los mismos tipos de pasos de aire y celdilla pero de distinta profundidades y analizar los resultados para corroborar la conclusión del correcto funcionamiento del sistema diseñado.



# **10**

## **Presupuesto**

## Presupuesto y Mediciones

Diseño y montaje de sistema para laboratorio de medidas.

Código	Descripción	Cantidad	Precio	Importe
CAPÍTULO 01				
01.01	UD SISTEMA ACÚSTICO VERTICAL			
	Ud Suministro y montaje de bastidor metálico de 1.060 x 2.110 mm realizado a base de tubo de acero galvanizado y paneles acústicos modelo T.Acustic 3.2 incluso perfiles especiales de fijación, paneles de adaptación para cerramiento completo y junta perimetral para asegurar estanqueidad, pequeño material para ensamble y montaje de los distintos elementos.	2	438,0	876,0
01.02	UD SISTEMA ACÚSTICO HORIZONTAL			
	<p>Suministro y montaje de sistema acústico horizontal para alojamiento de altavoz y direccionalidad del sonido compuesto por:</p> <p>-Caja acústica para alojamiento de altavoz de fuente acústica realizada mediante bandejas de chapa galvanizada de 1 mm de espesor con aislamiento de lana mineral de 70 k/m3 de densidad incluso perfilería para su apoyo.</p> <p>-Bancada metálica formada estructura de tubo de acero de 50.30 mm chapa metálica de 1 mm de espesor, seis patas del mismo material cuatro con ruedas y dos regulables con placas de apoyo.</p> <p>-Elemento de transición acústico realizado con bandejas de chapa galvanizada de 1 mm de espesor y lana mineral de 70 k/m3 de densidad incluso sistema de fijación mediante brida.</p> <p>-Conducto de sustitución de chapa metálica incluso paneles de adaptación a elemento de transición.</p> <p>-Pequeño material para ensamble y montaje de elementos anteriores.</p>	1	1.550,0	1.550,0

01.03	PANELES ACÚSTICOS			
	Ud suministro y montaje de cerramiento acústico realizado mediante paneles acústicos, para un hueco aproximado de 4.660 mm por 2.110 mm de altura, incluyendo los siguientes elementos: -Paneles acústicos marca ACUTER modelo T.Acustic 3.2. Fabricado mediante chapa galvanizada al exterior de 1,2 mm, lana mineral de 70 K/m3 y terminación en chapa galvanizada perforada de 0,8 mm de espesor. -Perfiles especiales realizados en chapa galvanizada conformada en frío para remate y fijación de paneles. -Pequeño material para ensamble y montaje de elementos anteriores.	1	1.440,0	1.440,0
01.04	DISEÑO PROYECTO			
	Ud Diseño y desarrollo de planos para la fabricación de los sistemas acústicos vertical, horizontal y cerramiento acústico.	1	4.320,0	4.320,0
01.05	MEDICIÓN ACÚSTICA AISLAMIENTO			
	Ud de Medición acústica de aislamiento a ruido aéreo de cerramiento acústico en cámara reverberante mediante norma 10140:1-5	3	590,0	1.770,0
01.06	MEDICIÓN ATENUACIÓN ACÚSTICA			
	Ud de Medición acústica de pérdidas por inserción de silenciador en cámara reverberante mediante norma 11820	3	590,0	1.770,0
01.07	ELABORACIÓN PROYECTO			
	Ud de Elaboración y redacción de proyecto con resultados obtenidos.	2	7.020,0	14.040,0
				<hr/>
Total presupuesto .....			25.766,0 €	



# **Anexo I, Planos de diseño del sistema.**

## Índice de Planos

Plano de cámara reverberante

1/1CR. "PLANO CÁMARA REVERBERANTE

Planos de diseño y definición de sistema de ensayo para silenciadores.

1/8 SIST. "DETALLE BASTIDOR A"

2/8 SIST. "DETALLE BASTIDOR B"

3/8 SIST. "DETALLE DE POSICIÓN EN HUECO BASTIDOR A"

4/8 SIST. "VISTA INTERIOR DEL CONJUNTO DE BASTIDORES  
COMPONENTES DEL SISTEMA VERTICAL DE ENSAYO"

5/8 SIST. "SILENCIADOR TIPO"

6/8 SIST. "SILENCIADORES DE ENSAYO"

7/8 SIST. "DETALLE CAJA ALOJAMIENTO FUENTE, TRANSICIÓN,  
CARRITO DE APOYO Y PANELES DE REMATE"

8/8 SIST. "MONTAJE TIPO"

Planos de diseño y montaje de paneles para ensayo aislamiento a ruido aéreo.

1/4 ARA. "HUECO CÁMARA CON PERFIL BASE

2/4 ARA. "CERRAMIENTO HUECO CÁMARA CON PANELES  
ACÚSTICOS"

3/4 ARA. "CERRAMIENTO HUECO CÁMARA CON BASTIDOR"

4/4 ARA. "PROCESO DE MONTAJE CERRAMIENTO HUECO  
CÁMARA CON PANELES ACÚSTICOS"

Planos de montaje de silenciadores para ensayo atenuación de silenciadores.

1/5 AT. "MONTAJE BASTIDORES SISTEMA"

2/5 AT. "MONTAJE SILENCIADOR DE ENSAYO 100-200"

3/5 AT. "MONTAJE SILENCIADOR DE ENSAYO 150-200"

4/5 AT. "MONTAJE SILENCIADOR DE ENSAYO 200-200"

5/5 AT. "MONTAJE SISTEMA ENSAYO SILENCIADORES"





# **Anexo II, Hojas de toma de datos en laboratorio.**

Hojas de laboratorio de toma de datos de control de ensayo de Aislamiento a ruido aéreo.

**HOJA DE MEDICIÓN**

Hoja: 1/1

Ref:   
 Fecha:

Hora:

Fabricante:	Acuter
Cliente:	Acuter
Montaje por:	Acuter
Producto ensayado:	Panel acústico "T. Acustic 3.2"

**Descripción de:**

- la instalación de ensayo

Abertura en pared central de cámara reverberante del laboratorio de acústica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación.

- elemento de ensayo

Panel acústico marca ACUTER, modelo T.ACUSTIC 3.2, fabricado por una chapa galvanizada al exterior de 1,2 mm de espesor, dos mantas de lana mineral de distinta densidad con velo negro de protección en la cara exterior y terminación en chapa galvanizada perforada con el 43 % de perforaciones y 0,8 mm de espesor.

- disposición ensayo

\* Se colocan en la abertura paneles acústicos descritos cerrando el hueco, con cara perforada del lado fuente.

- referencia de aplicación a Norma ISO

\* Posición del elemento de ensayo a un lado de la discontinuidad acústica existente en la abertura.  
 \* Disposición de posiciones de fuente y micrófono cumpliendo distancias mínimas exigidas según plano 1/1 MED AISL.  
 \* Número de posiciones de micrófono para medición bajas frecuencias cumpliendo ANEXO A de la UNE EN ISO 10140:4

Área del elemento de ensayo	9,8	m <sup>2</sup>
Masa por unidad de área	23,0	K/m <sup>2</sup>

**HOJA DE MEDICIÓN**

Hoja: 1/3

Fecha:

08/11/2013

Ref:

Hora:

18:55

Sala Emisora:	Tª:	23,1 °C	Calibración	Antes
	HR:	46,2 %		93,7 dB
	P Estática:	MPa		Después
	V:	110,87 m³		93,7 dB
Sala Receptora	Tª:	23,4 °C	Calibración	Antes
	HR:	46,2 %		93,7 dB
	P Estática:	MPa		Después
	V:	90,36 m³		93,7 dB

Medidas						
Sala	Tipo medida	Pos. Fuente	nº Med.	Pto Med.	v	Observaciones
Emisora	Lp	1	0	1		
	Lp		5	2		
	Lp		1	3		
	Lp		4	4		
	Lp		2	5		
	Lp		3	6		
Receptora	RF	1	12	3		
	Lp		13	1		
	Lp		6	2		
	Lp		11	3		
	Lp		7	4		
	Lp		10	5		
	Lp		9	6		
	RF		8	4		
	TR	1	16	1		
	TR		31	2		
	TR		19	3		
	TR		28	4		
	TR		22	5		
	TR		25	6		

Observaciones:

Lp amplificador 19 dB  
Tr amplificador 22 dB

**HOJA DE MEDICIÓN**

Hoja: 2/3

Fecha:

08/11/2013

Ref:

Hora:

15:50

Sala Emisora:	Tª:	22,3 °C	Calibración	Antes
	HR:	46,7 %		93,7 dB
	P Estática:	MPa		Después
	V:	110,87 m³		93,7 dB
Sala Receptora	Tª:	23,2 °C	Calibración	Antes
	HR:	39,1 %		93,7 dB
	P Estática:	MPa		Después
	V:	90,36 m³		93,7 dB

Medidas						
Sala	Tipo medida	Pos. Fuente	nº Med.	Pto Med.	v	Observaciones
Emisora	Lp	2	0	1		
	Lp		5	2		
	Lp		1	3		
	Lp		4	4		
	Lp		2	5		
	Lp		3	6		
Receptora	RF	2	6	1		
	Lp		7	1		
	Lp		13	2		
	Lp		8	3		
	Lp		12	4		
	Lp		9	5		
	Lp		11	6		
	RF		10	6		
	TR	2	31	1		
	TR		16	2		
	TR		28	3		
	TR		19	4		
	TR		25	5		
	TR		22	6		

Observaciones:

Lp amplificador 19 dB  
Tr amplificador 22 dB

**HOJA DE MEDICIÓN**

Hoja: 3/3

Fecha:

08/11/2013

Ref:

Hora:

17:10

Sala Emisora:	Tª:	22,8 °C	Calibración	Antes
	HR:	48,4 %		93,7 dB
	P Estática:	MPa		Después
	V:	110,87 m³		93,7 dB
Sala Receptora	Tª:	23,4 °C	Calibración	Antes
	HR:	46,2 %		93,7 dB
	P Estática:	MPa		Después
	V:	90,36 m³		93,7 dB

Medidas						
Sala	Tipo medida	Pos. Fuente	nº Med.	Pto Med.	v	Observaciones
Emisora	Lp	3	38	1		
	Lp		33	2		
	Lp		37	3		
	Lp		34	4		
	Lp		36	5		
	Lp		35	6		
Receptora	RF	3	32	2		
	Lp		25	1		
	Lp		31	2		
	Lp		26	3		
	Lp		30	4		
	Lp		27	5		
	Lp		29	6		
	RF		28	5		
	TR	3	2	1		
	TR		17	2		
	TR		5	3		
	TR		14	4		
	TR		8	5		
	TR		11	6		

Observaciones:

Lp amplificador 19 dB  
Tr amplificador 22 dB

Plano 1/1 MED AISL

## Hojas de laboratorio de toma de datos de control de ensayo de Atenuación.

## HOJA DE MEDICIÓN

Hoja: 1/1

Ref:

Fecha:

Hora:

Fabricante:	Acuter
Cliente:	Acuter
Montaje por:	Acuter
Producto ensayado:	Silenciador TAS 100-200 600 x 600 x 900

## Descripción de:

- la instalación de ensayo

Sistema de ensayo de silenciadores "in situ" en hueco de puerta sencilla en la cámara reverberante del laboratorio de acústica de la Escuela Técnica superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación.

- elemento de ensayo

Silenciador marca ACUTER, modelo TAS 100-200 600 X 600 X 900, fabricado por envoltorio de chapa galvanizada, celdillas de absorción de lana mineral con envoltorio de chapa galvanizada y bridas del mismo material.

- disposición ensayo

\* Según plano 2/5 AT

\*



- referencia de aplicación a Norma ISO 11820

\* Disposición de posiciones de fuente y micrófono cumpliendo distancias mínimas exigidas según plano 1/1 MED AT.

\* Número de posiciones de micrófono para medición bajas frecuencias cumpliendo ANEXO A de la UNE EN ISO 10140:4

Área del elemento de ensayo	m <sup>2</sup>
Masa por unidad de área	K/m <sup>2</sup>

**HOJA DE MEDICIÓN**

Hoja: 1/2

Fecha:

29/11/2013

Ref:

Hora:

17:45

Sala Receptora	Tª:	21,9 °C	Calibración	Antes
	HR:	31,1 %		93,7 dB
	P Estática:	MPa		Después
	V:	201,23 m³		93,7 dB

Medidas con silenciador 100-200						
Sala	Tipo medida	Pos. Fuente	nº Med.	Pto Med.	v	Observaciones
Emisora	Lp	1	2	1		
	Lp		4	2		
	Lp		6	3		
	Lp		8	4		
	Lp		10	5		
	Lp		12	6		
Receptora	RF	1	0	3		
	Lp		1	1		
	Lp		3	2		
	Lp		5	3		
	Lp		7	4		
	Lp		9	5		
	Lp		11	6		
	RF		13	4		
	TR	1	19	1		
	TR		22	2		
	TR		31	3		
	TR		34	4		
	TR		37	5		
	TR		28	6		

Observaciones:

Lp amplificador 29 dB

Tr amplificador 29 dB



## HOJA DE MEDICIÓN

Hoja: 2/2

Fecha:

02/12/2013

Ref:

Hora:

15:50

Sala Receptora	Tª:	23,2 °C	Calibración	Antes
	HR:	39,1 %		93,7 dB
	P Estática:	MPa		Después
	V:	201,23 m³		93,7 dB

Medidas con conducto						
Sala	Tipo medida	Pos. Fuente	nº Med.	Pto Med.	v	Observaciones
Emisora	Lp	1	8	1		
	Lp		10	2		
	Lp		2	3		
	Lp		4	4		
	Lp		6	5		
	Lp		13	6		
Receptora	RF	1	0	1		
	Lp		7	1		
	Lp		9	2		
	Lp		1	3		
	Lp		3	4		
	Lp		5	5		
	Lp		11	6		
	RF		13	6		
	TR	1	19	1		
	TR		22	2		
	TR		25	3		
	TR		28	4		
	TR		31	5		
	TR		16	6		

Observaciones:

Lp amplificador 19 dB  
Tr amplificador 29 dB

Responsable ensayo:

E.H

**HOJA DE MEDICIÓN**

Hoja: 1/1

 Ref:   
 Fecha: 
Hora: 

Fabricante:	Acuter
Cliente:	Acuter
Montaje por:	Acuter
Producto ensayado:	Silenciador TAS 150-200 700 x 600 x 900

**Descripción de:**

- la instalación de ensayo

Sistema de ensayo de silenciadores "in situ" en hueco de puerta sencilla en la cámara reverberante del laboratorio de acústica de la Escuela Técnica superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación.

- elemento de ensayo

Silenciador marca ACUTER, modelo TAS 150-200 700 X 600 X 900, fabricado por envoltorio de chapa galvanizada, celdillas de absorción de lana mineral con envoltorio de chapa galvanizada y bridas del mismo material.

- disposición ensayo

\* Según plano 3/5 AT



- referencia de aplicación a Norma ISO 11820

\* Disposición de posiciones de fuente y micrófono cumpliendo distancias mínimas exigidas según plano 1/1 MED AT.

\* Número de posiciones de micrófono para medición bajas frecuencias cumpliendo ANEXO A de la UNE EN ISO 10140:4

Área del elemento de ensayo	m <sup>2</sup>
Masa por unidad de área	K/m <sup>2</sup>

**HOJA DE MEDICIÓN**

Hoja: 1/2

Fecha:

09/12/2013

Ref:

Hora:

19:45

Sala Receptora	Tª:	20,2 °C	Calibración	Antes
	HR:	30,6 %		93,7
	P Estática:	MPa		Después
	V:	201,23 m³		93,7

Medidas con silenciador 150-200						
Sala	Tipo medida	Pos. Fuente	nº Med.	Pto Med.	v	Observaciones
Emisora	Lp	1	15	1		
	Lp		11	2		
	Lp		9	3		
	Lp		4	4		
	Lp		2	5		
	Lp		17	6		
Receptora	Lp	1	14	1		
	Lp		10	2		
	Lp		8	3		
	Lp		3	4		
	Lp		1	5		
	Lp		16	6		
	TR	1	26	1		
	TR		29	2		
	TR		32	3		
	TR		35	4		
	TR		38	5		
	TR		23	6		
	RF	1	13	1		
	RF		12	2		
	RF		7	3		
	RF		5	4		
	RF		6	5		
	RF		20	6		

Observaciones:

Lp amplificador 29 dB  
Tr amplificador 29 dB

Medidas nulas : 0; 18; 19

**HOJA DE MEDICIÓN**

Hoja: 2/2

Fecha:

09/12/2013

Ref:

Hora:

20:15

Sala Receptora	Tª:	20,2 °C	Calibración	Antes
	HR:	30,6 %		93,7
	P Estática:	MPa		Después
	V:	201,23 m³		93,7

Medidas con conducto						
Sala	Tipo medida	Pos. Fuente	nº Med.	Pto Med.	v	Observaciones
Emisora	Lp	1		1		
	Lp			2		
	Lp			3		
	Lp			4		
	Lp			5		
	Lp			6		
Receptora	RF	1		1		
	Lp			1		
	Lp			2		
	Lp			3		
	Lp			4		
	Lp			5		
	Lp			6		
	RF			6		
	TR	1		1		
	TR			2		
	TR			3		
	TR			4		
	TR			5		
	TR			6		

Observaciones:

Lp amplificador 29 dB  
Tr amplificador 29 dB

Responsable ensayo:

E.H

**HOJA DE MEDICIÓN**

Hoja: 1/1

Ref:   
 Fecha: 13/12/2013

Hora: 18:15

Fabricante:	Acuter
Cliente:	Acuter
Montaje por:	Acuter
Producto ensayado:	Silenciador TAS 200-200 800 x 600 x 900

**Descripción de:**

- la instalación de ensayo

Sistema de ensayo de silenciadores "in situ" en hueco de puerta sencilla en la cámara reverberante del laboratorio de acústica de la Escuela Técnica superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación.

- elemento de ensayo

Silenciador marca ACUTER, modelo TAS 200-200 800 X 600 X 900, fabricado por envoltorio de chapa galvanizada, celdillas de absorción de lana mineral con envoltorio de chapa galvanizada y bridas del mismo material.

- disposición ensayo

\* Según plano 4/5 AT



- referencia de aplicación a Norma ISO 11820

\* Disposición de posiciones de fuente y micrófono cumpliendo distancias mínimas exigidas según plano 1/1 MED AT.

\* Número de posiciones de micrófono para medición bajas frecuencias cumpliendo ANEXO A de la UNE EN ISO 10140:4

Área del elemento de ensayo	m <sup>2</sup>
Masa por unidad de área	K/m <sup>2</sup>

**HOJA DE MEDICIÓN**

Hoja: 1/2

Fecha:

13/12/2013

Ref:

Hora:

18:15

Sala Receptora	Tª:	21,1 °C	Calibración	Antes
	HR:	33 %		93,7
	P Estática:	MPa		Después
	V:	201,23 m³		93,7

Medidas con silenciador 200-200						
Sala	Tipo medida	Pos. Fuente	nº Med.	Pto Med.	v	Observaciones
Emisora	Lp	1	16	1		
	Lp		12	2		
	Lp		10	3		
	Lp		4	4		
	Lp		2	5		
	Lp		18	6		
Receptora	Lp	1	15	1		
	Lp		11	2		
	Lp		9	3		
	Lp		3	4		
	Lp		1	5		
	Lp		17	6		
	TR	1	25	1		
	TR		28	2		
	TR		31	3		
	TR		34	4		
	TR		37	5		
	TR		22	6		
	RF	1	14	1		
	RF		13	2		
	RF		8	3		
	RF		7	4		
	RF		0	5		
	RF		19	6		

Observaciones:

Lp amplificador 29 dB  
Tr amplificador 29 dB

Medidas 5 y 6 nulas

**HOJA DE MEDICIÓN**

Hoja: 2/2

Fecha:

13/12/2013

Ref:

Hora:

19:30

Sala Receptora	Tª:	21,3 °C	Calibración	Antes
	HR:	34,6 %		93,7
	P Estática:	MPa		Después
	V:	201,23 m³		93,73

Medidas con conducto 2						
Sala	Tipo medida	Pos. Fuente	nº Med.	Pto Med.	v	Observaciones
Emisora	Lp	1	13	1		
	Lp		11	2		
	Lp		7	3		
	Lp		1	4		
	Lp		5	5		
	Lp		17	6		
Receptora	Lp	1	12	1		
	Lp		10	2		
	Lp		6	3		
	Lp		0	4		
	Lp		4	5		
	Lp		16	6		
	TR	1	23	1		
	TR		26	2		
	TR		29	3		
	TR		32	4		
	TR		35	5		
	TR		20	6		
	RF	1	14	1		
	RF		9	2		
	RF		8	3		
	RF		2	4		
	RF		3	5		
	RF		15	6		

Observaciones:

Lp amplificador 29 dB  
Tr amplificador 29 dB

Responsable ensayo:

E.H

Plano 1/1 Med AT



# **Anexo III, Certificados**

# Predicción del aislamiento acústico (v7.0.6)

Derechos de autor del programa: Marshall Day Acoustics 2012

- Key No. 1450

El margen de error está generalmente entre  $R_w \pm 3$  dB

Nombre del informe:

Informe N°:

Página N°:

Comentarios:

Fecha: 23 jun 14

Iniciales: Usuario

Nombre del archivo:



$R_w$  53 dB  
C -7 dB  
 $C_v$  -15 dB

## Descripción del sistema

Panel 1 Capa externa: 1 x 1.2 mm Acero- ( $\rho=9,4$  kg/m<sup>2</sup>,  $f_0=10417$  Hz, Amortiguamiento=0,01) Perfil

Cavidad: Estructura de acero @ 1000 mm, Relleno: Lana de Roca (90kg) Espesor: 80 mm

Panel 2 Capa interna: 1 x 0,4 mm chapa de acero perforada- ( $\rho=3,5$  kg/m<sup>2</sup>,  $f_0=27779$  Hz, Amortiguamiento=0,01) Perfil

Panel 2 Capa externa: 1 x 0,4 mm chapa de acero perforada- ( $\rho=3,5$  kg/m<sup>2</sup>,  $f_0=27779$  Hz, Amortiguamiento=0,01)

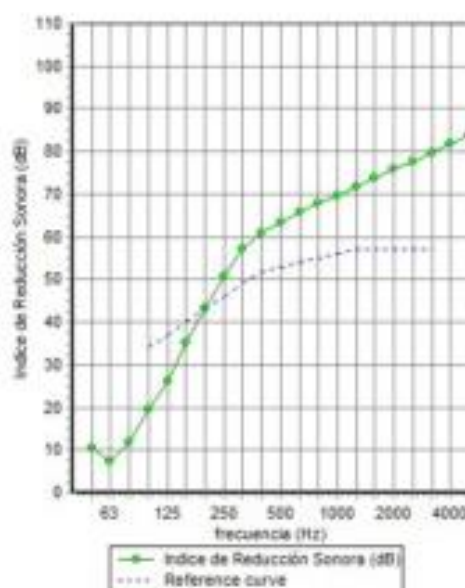
Cavidad: Estructura de acero @ 1000 mm, Relleno: Lana de Roca (90kg) Espesor: 80 mm

Panel 3 Capa externa: 1 x 1.2 mm Acero ( $\rho=9,4$  kg/m<sup>2</sup>,  $f_0=10417$  Hz, Amortiguamiento=0,01)

Frecuencia de resonancia Masa-aire-masa = 69 Hz, 132

Tamaño del panel 2,7x4 m

frecuencia (Hz)	TL(dB)	TL(dB)
50	10	
63	7	9
80	12	
100	20	
125	26	23
160	35	
200	43	
250	51	47
315	57	
400	61	
500	64	63
630	66	
800	68	
1000	70	69
1250	72	
1600	74	
2000	76	75
2500	78	
3150	80	
4000	82	81
5000	84	





## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificate of calibration  
Código: 13LAC8586F001  
Código:  
Página 1 de 25 páginas  
Page \_\_ of \_\_ pages



## LACAINAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS ACÚSTICOS  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

CAMPUS SUR UPM. ETSI Topografía. Ctra. Valencia, km 7. 28031 – Madrid.  
Tel.: (+34) 91 336 4697 / (+34) 91 331 1968 Ext. 30.  
[www.2a2.upm.es](http://www.2a2.upm.es) – [lacainac@2a2.upm.es](mailto:lacainac@2a2.upm.es)

**INSTRUMENTO**  
*Instrument*

**SONÓMETRO INTEGRADOR**

**FABRICANTE**  
*Manufacturer*

01dB  
Marca del micrófono: G.R.A.S.

**MÓDELO**  
*Model*

Symphonie  
Modelo del micrófono: 40AF

**NÚMERO DE SERIE**  
*Serial number*

01366, CANAL: 1  
Número de serie del micrófono: 24126

**PETICIONARIO**  
*Customer*

Juan Sancho Gil (DIAC)  
Ctra.de Valencia Km.7., EUITT  
28031 Campus Sur UPM MADRID

**FECHA DE CALIBRACIÓN**  
*Calibration date*

15/10/2013

**TÉCNICO DE CALIBRACIÓN**  
*Calibration Technician*

Irene Martín-Fuertes Santiago

**Signatario autorizado**  
*Authorized signatory*

Firmado por: NOMBRE FRAILE RODRIGUEZ RODOLFO -  
NIF 52979086N  
Fecha y hora: 16.10.2013 12:13:50

**Director Técnico**

Este Certificado se expide de acuerdo con las condiciones de la acreditación concedida por ENAC que ha comprobado las capacidades de medida del Laboratorio y su trazabilidad a patrones nacionales o internacionales.

Este Certificado no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo expide.

ENAC es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (MLA) de calibración de European Cooperation for Accreditation (EA) y de International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

*This Certificate is issued in accordance with the conditions of accreditation granted by ENAC which has assessed the measurement capability of the laboratory and its traceability to national standards.*

*This Certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing laboratory.*

*ENAC is one of the signatories of the Multilateral Agreement of the European Cooperation for Accreditation (EA) and the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).*



## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificate of calibration  
Código: 13LAC8586F002  
Code:  
Página 1 de 3 páginas  
Page \_\_\_ of \_\_\_ pages



## LACAINAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS ACÚSTICOS  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

CAMPUS SUR UPM, ETSI Topografía, Ctra. Valencia, km 7, 28031 – Madrid.  
Tel.: (+34) 91 336 4887 / (+34) 91 331 1968 Ext. 30.  
[www.2a2.upm.es](http://www.2a2.upm.es) – [lacainac@2a2.upm.es](mailto:lacainac@2a2.upm.es)

<b>INSTRUMENTO</b> <i>Instrument</i>	<b>CALIBRADOR ACÚSTICO</b>
<b>FABRICANTE</b> <i>Manufacturer</i>	01dB
<b>MODELO</b> <i>Model</i>	CAL01
<b>NÚMERO DE SERIE</b> <i>Serial number</i>	11663
<b>PETICIONARIO</b> <i>Customer</i>	Juan Sancho Gil (DIAC) Ctra.de Valencia Km.7., EUITT 28031 Campus Sur UPM MADRID
<b>FECHA DE CALIBRACIÓN</b> <i>Calibration date</i>	15/10/2013
<b>TÉCNICO DE CALIBRACIÓN</b> <i>Calibration Technician</i>	Paloma Chacón Resino

Signatario autorizado  
*Authorized signatory*

Firmado por: NOMBRE FRAILE RODRIGUEZ RODOLFO -  
NIF 52979086N  
Fecha y hora: 16.10.2013 09:59:32

Director Técnico

Este Certificado se expide de acuerdo con las condiciones de la acreditación concedida por ENAC que ha comprobado las capacidades de medida del Laboratorio y su trazabilidad a patrones nacionales o internacionales.

Este Certificado no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo expide.

ENAC es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (MLA) de calibración de European Cooperation for Accreditation (EA) y de International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

*This Certificate is issued in accordance with the conditions of accreditation granted by ENAC which has assessed the measurement capability of the laboratory and its traceability to national standards.*

*This Certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing laboratory.*

*ENAC is one of the signatories of the Multilateral Agreement of the European Cooperation for Accreditation (EA) and the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).*

## Referencias bibliográficas.

- [1] UNE-EN ISO 11820 – Acústica. Mediciones “in situ” de silenciadores. (1996)
- [2] UNE-EN ISO 14163: – Acústica. Directrices para el control de ruido por medio de silenciadores. (1998)
- [3] UNE-EN ISO 10140-4 – Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 4: Procedimientos y requisitos de medición. (2010)
- [4] UNE-EN ISO 10140-2 – Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 2: Medición del aislamiento acústico al ruido aéreo. (2010)
- [5] MANUAL DE ACÚSTICA, RUIDO Y VIBRACIONES. Fundamentos Básicos y Sistemas de Control. Pedro Flores Pereira. Cap. VI Aislamiento Acústico.
- [6] CURSILLO UNIVERSIDAD DE VIGO. Manuel A. Sobreira Seoane. Capítulos 2 y 3.
- [7] NOISE AND VIBRATION CONTROL ENGINEERING. Principles and applications. 2º edition. István L. Ver & Leo L. Beranek. 9 “Passive silencer” (279-344)
- [8] UNE-EN ISO 10140-1 – Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 1: Reglas de aplicación para productos específicos. (2010)
- [9] UNE-EN ISO 10140-5 – Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 5: Requisitos para instalaciones y equipos de ensayo. (2010)

## OTROS TEXTOS CONSULTADOS

[10] Medidas acústicas y control de ruidos. Cyril M Harris. Cap. 30 Materiales absorbentes del sonido. Cap. 31 Aislamiento del sonido transmitido por el aire.

[11] Acústica Arquitectónica. Manuel Recuero López; Constantino Gil Gonzalez. Editorial Izquierdo, S.A. Capítulo Aislamiento de una pared simple.

[12] Acústica Arquitectónica. Manuel Recuero López; Editorial Paraninfo, S.A. Capítulo de Índices de valoración del ruido.

[13] MANUAL DE ACÚSTICA, RUIDO Y VIBRACIONES. Fundamentos Básicos y Sistemas de Control. Pedro Flores Pereita. Cap. VIII Silenciadores

[14] Guía práctica sobre acústica en instalaciones de climatización. Fundación de la Energía de la comunidad de Madrid. ATECYR.

[15] Manual de aislamiento en la Industria, Salvador Escoda S.A. Aislamiento y acondicionamiento acústico. Capítulo 4.06 Aislamiento del sonido.

## PÁGINAS WEB CONSULTADAS

[16] [www.acuteraislamientos.com](http://www.acuteraislamientos.com)

[17] [www.tecson.es](http://www.tecson.es). Catálogo. Panel TSC80; Silenciadores TSA-100/200; TSA-150/200; TSA-200/200.

[18] [www.grupostoc.com](http://www.grupostoc.com). Panel STOC ST-PA-80

[19] [www.iracustica.com](http://www.iracustica.com). Panel Acústico Ir80

[20] [www.tradair.es](http://www.tradair.es). Silenciadores SIR M 300; SIR M 350; SIR M 400;

[21] [www.notson-acustica.com](http://www.notson-acustica.com). Silenciadores SN10; SN15; SN20.